ANATOMIE – PHYSIOLOGIE – PATHOLOGIE – ANGIOGRAPHIE

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

uteur.

PÉRIPHÉRIQUE. *Description. Systématisation. Exploration.* 1971.
ume de 509 pages, avec 304 figures.

X CENTRAL. *Description. Systématisation. Exploration.* 1973.
ume de 518 pages, avec 315 figures.

T LA CIRCULATION DE L'ENCÉPHALE, par G. LAZORTHES, A. GOUAZÉ
volume (en préparation).

SCULAIRE. *Etude anatomique, physiologique, pathologique et*
ce de R. Leriche. 1950. Un volume de 300 pages, avec 71 figures
cadémie des Sciences, 1951).

CIRCULATION CÉRÉBRALES, par G. LAZORTHES et collaborateurs.
mann. 1961. Un volume de 324 pages, avec 138 figures et

TRACRÂNIENNES *traumatiques, spontanées et du premier âge.*
-Dutaillis. 1952. Un volume de 256 pages, avec 82 figures.

ALE *vue par le neurochirurgien* (Réunion annuelle de la Société
de langue française). 1956. Un volume de 122 pages, avec

VASCULARISATION
ET
CIRCULATION
DE LA
MOELLE ÉPINIÈRE

ANATOMIE - PHYSIOLOGIE
PATHOLOGIE - ANGIOGRAPHIE

par

GUY LAZORTHES
Correspondant de l'Académie des Sciences
Membre de l'Académie Nationale de Médecine
Professeur de Clinique de Neurochirurgie, Toulouse
Ancien Professeur d'Anatomie - Docteur ès Sciences

ANDRÉ GOUAZÉ
Doyen et Professeur d'Anatomie
de la Faculté de Médecine de Tours
Neuro-Chirurgien des Hôpitaux

RENÉ DJINDJIAN
Professeur Associé de Neuroradiologie
de la Faculté de Médecine de Paris
Neuroradiologiste de l'Hôpital Lariboisière

MASSON & Cie, ÉDITEURS
120, Boulevard Saint-Germain, PARIS (VIe)
1973

ETIOPATHIE
Bretagne
000103

a vascularisation artérielle du rachis dans le but de découtra-rachidiennes ou intra-rachidiennes des artères destizorthes et A. Gouazé, 1966-1968). Ceci nous a permis de ieurs plans anastomotiques disposés d'avant en arrière : tiques; 2° anastomoses intra-somatiques; 3° anastomoses a-rachidiennes; 4° anastomoses rétro-vertébrales ou périses se font dans le plan vertical et dans le plan transversal

res qui pénètrent dans les corps vertébraux varie, chez s importantes (3 à 26) selon le niveau de la colonne ver- en fonction de la taille du corps vertébral. Il est plus ns thoracique et lombaire, ce qui explique vraisemblablelus fréquente à l'artériographie.

CHAPITRE V

RÉSEAU CAPILLAIRE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE

Les artères qui pénètrent dans la moelle, qu'elles proviennent des artères centrales ou du réseau périmédullaire, sont entourées comme celles du cerveau d'une gaine périvasculaire que leur fournissent la pie-mère et la névroglie. Comme au niveau du cerveau, il y a entre artère et gaine périvasculaire un espace : l'espace de Virchow-Robin, qui est en communication avec les espaces méningés; la diffusion des produits colorés le prouve.

On trouve sur les artères médullaires et intra-médullaires des fibres nerveuses amyéliniques. Les artères de la moelle, comme celles du cerveau, doivent être régies par une vasomotricité que nous connaissons mal.

Les artères intra-médullaires se terminent dans une fine arborisation dépourvue de gaine méningée. Le réseau capillaire est dense et à mailles étroites et irrégulières dans la substance grise; il est lâche et à mailles larges et irrégulières dans la substance blanche.

H. Kadyi (1889) a déjà étudié le réseau capillaire intra-médullaire. Il le divisait en trois parties d'organisation différente : 1° Les capillaires de la substance blanche sont disposés dans le sens longitudinal le long des fibres nerveuses. Ils sont plus nombreux dans les cordons latéraux et postérieurs que dans le cordon antérieur. Dans la commissure blanche, ils sont plus fins et disposés transversalement. Aux confins de la substance grise, dans la zone intermédiaire entre substances grise et blanche, les mailles du réseau sont plus serrées. 2° Les capillaires de la substance gélatineuse centrale et de la substance gélatineuse de Rolando, plus denses que ceux de la substance blanche, sont faits de mailles larges disposées longitudinalement; c'est au niveau de la substance gélatineuse de Rolando que l'on rencontre les mailles capillaires les plus larges de toute la moelle. 3° Le réseau capillaire de la substance grise est épais et dense. Les capillaires sont touffus et tortueux, tout particulièrement dans les cornes antérieures et latérales et au niveau de la base de la corne postérieure dans la colonne de Clarke. Les mailles s'insinuent à l'intérieur des groupes cellulaires.

Cette description date de la fin du siècle dernier; elle a été confirmée par les recherches ultérieures.

1° *Les capillaires de la substance blanche.*

Dans la substance blanche, les mailles du réseau capillaire sont disposées dans le sens longitudinal de la moelle, comme le sont les faisceaux des cordons. J. Krause (1876) observe que les mailles du réseau capillaire sont plus lâches dans le cordon antérieur que dans le cordon postérieur. H. Kadyi (1889) retrouve aussi, comme nous l'avons dit, une plus grande densité dans les faisceaux des cordons postérieurs. D'après C. Fazio (1938), la densité capillaire varie en des points même très voisins en fonction de la direction des fibres nerveuses; dans la moelle thoracique, les mailles du réseau sont surtout verticales et les capillaires enroulés prennent l'aspect caractéristique de « tire-bouchon ». Dans la région voisine de l'émergence des racines, les mailles capillaires sont placées dans la direction des fibres radiculaires. Il semble que le faisceau pyramidal soit plus vascularisé que les autres faisceaux.

2° *Les capillaires de la substance grise.*

Dans la substance grise, les capillaires sont très denses, enchevêtrés et tortueux. La densité et la disposition des capillaires varient, d'une part avec le nombre de cellules et leur disposition, d'autre part avec l'orientation de leurs prolongements. En général, le réseau est plus dense au niveau des noyaux et des groupements cellulaires (G. Sterzi, 1904; C. Fazio, 1938 et autres). Les cornes antérieures sont plus richement irriguées que les cornes postérieures. Le réseau capillaire est moins dense dans la substance grise péri-épendymaire et dans la corne latérale. Il se densifie autour de la colonne de Clarke et de la substance gélatineuse de Rolando où les corps cellulaires sont très denses.

La différence entre le réseau capillaire de la substance blanche et celui de la substance grise existe dans l'ensemble du système nerveux central et a été retrouvée dans de nombreuses espèces animales. La richesse du lit capillaire augmenterait régulièrement dans la série animale des espèces inférieures aux espèces supérieures. Il varierait aussi avec la richesse des synapses et celle des neurones en mitochondries (E. H. Craigie, 1938; D. H. M. Woollam et W. Millen, 1955).

La plus grande richesse de la substance grise est en relation avec l'activité métabolique du neurone. Les besoins énergétiques de la substance blanche sont au contraire réduits. L'apport vasculaire est essentiellement destiné à la cellule gliale. D'après E. H. Craigie (1938) d'ailleurs, la différence de densité du réseau capillaire des diverses régions de la substance grise serait en relation avec la plus ou moins grande activité métabolique. H. S. Dunning et H. G. Wolff (1936-1937), dans le même sens, ont démontré que la richesse en capillaires d'une zone grise déterminée est plus en rapport avec l'abondance des dendrites et des arborisations terminales riches de formations synaptiques ayant une activité métabolique élevée, que le nombre et le volume des neurones : le cortex pariétal du chat par exemple qui, sur une coupe de même surface, a montré moins de cellules que le noyau du trijumeau, a un réseau capillaire plus dense que celui de ce dernier. Au niveau des renflements cervical et lombaire de la moelle épinière, le réseau capillaire est très riche, ce qui correspond avec la richesse de la vascularisation extra-axiale :

es capillaires de la substance blanche.

e blanche, les mailles du réseau capillaire sont disposées
nal de la moelle, comme le sont les faisceaux des cordons.
re que les mailles du réseau capillaire sont plus lâches dans
dans le cordon postérieur. H. Kadyi (1889) retrouve aussi,
t, une plus grande densité dans les faisceaux des cordons
Fazio (1938), la densité capillaire varie en des points même
on de la direction des fibres nerveuses; dans la moelle
du réseau sont surtout verticales et les capillaires enroulés
ctéristique de « tire-bouchon ». Dans la région voisine de
s, les mailles capillaires sont placées dans la direction des
emble que le faisceau pyramidal soit plus vascularisé que

Les capillaires de la substance grise.

grise, les capillaires sont très denses, enchevêtrés et tor-
a disposition des capillaires varient, d'une part avec le
leur disposition, d'autre part avec l'orientation de leurs
éral, le réseau est plus dense au niveau des noyaux et des
s (G. Sterzi, 1904; C. Fazio, 1938 et autres). Les cornes
chement irriguées que les cornes postérieures. Le réseau
ase dans la substance grise péri-épendymaire et dans la
nsifie autour de la colonne de Clarke et de la substance
où les corps cellulaires sont très denses.

le réseau capillaire de la substance blanche et celui de
te dans l'ensemble du système nerveux central et a été
reuses espèces animales. La richesse du lit capillaire aug-
dans la série animale des espèces inférieures aux espèces
aussi avec la richesse des synapses et celle des neurones
. Craigie, 1938; D. H. M. Woollam et W. Millen, 1955).
nesse de la substance grise est en relation avec l'activité
e. Les besoins énergétiques de la substance blanche sont
apport vasculaire est essentiellement destiné à la cellule
aigie (1938) d'ailleurs, la différence de densité du réseau
gions de la substance grise serait en relation avec la plus
é métabolique. H. S. Dunning et H. G. Wolff (1936-1937),
démontré que la richesse en capillaires d'une zone grise
apport avec l'abondance des dendrites et des arborisations
nations synaptiques ayant une activité métabolique élevée,
me des neurones : le cortex pariétal du chat par exemple
ême surface, a montré moins de cellules que le noyau du
capillaire plus dense que celui de ce dernier. Au niveau
et lombaire de la moelle épinière, le réseau capillaire
espond avec la richesse de la vascularisation extra-axiale :

artère spinale antérieure, artères centrales, avec la densité des ramifications intra-axiales, et est en corrélation avec l'importance de la substance grise, la densité cellulaire des cornes antérieures en particulier et le plus grand nombre des terminaisons synaptiques.

Les réseaux capillaires de la substance grise et de la substance blanche se prolongent l'un avec l'autre. *La limite* entre les deux substances est marquée par une différence de l'orientation des mailles et de leur densité.

Le diamètre des capillaires de la substance grise serait, d'après H. Kadyi, G. Sterzi et Cajal, inférieur à celui des capillaires de la substance blanche. Les chiffres donnés par les auteurs sont : pour la substance grise, G. Sterzi : 4 μ; pour la substance blanche, H. Kadyi : 7,5 à 13 μ; G. Sterzi : 4 à 9 μ, Cajal : 12 à 14 μ. D'après P. Sarteschi et A. Giannini (1960), ces chiffres sont inexacts, car obtenus sur des pièces injectées et donc sur des vaisseaux artificiellement dilatés. Il est aussi parfois difficile de dire comment et où finissent les capillaires et s'il s'agit de capillaires ou de précapillaires.

La structure des capillaires de la moelle et de la substance nerveuse en général est simple. Elle est représentée par le seul revêtement endothélial constitué de cellules, à noyau ovoïde et aplati, placé transversalement. D'après la plupart des auteurs, l'endothélium des capillaires du système nerveux est continu et non « fenestré » à la différence de ce qu'il est dans le reste de l'organisme. Les cellules sont unies entre elles par des « tight junctions » (jonctions étanches). Ce dispositif défavorable au passage des substances d'un certain poids moléculaire serait l'expression morphologique de la barrière hémato-névraxique, c'est-à-dire hémato-encéphalique et hémato-médullaire.

Cajal affirme que, même au niveau des capillaires de la moelle, on peut mettre en évidence, en dehors de l'endothélium, une adventice très délicate formée par un enchevêtrement compliqué de fibrilles argentophiles.

Autour des capillaires est une enveloppe décrite pour la première fois par Lentossek, constituée par les prolongements ou pieds des cellules gliales. Ces prolongements entourent comme un manchon le vaisseau et adhèrent à l'adventice. La question est posée de dire si ces expansions névrogliques constituent une membrane continue ou non. Leur rôle dans les échanges nutritifs est démontré. (Voir « Vascularisation et circulation de l'encéphale », à paraître.)

3° Les capillaires des ganglions spinaux.

Ils ont une disposition analogue à celle de la moelle épinière et de la substance nerveuse en général : les mailles du réseau sont denses, étroites et tortueuses dans la substance grise, vastes et lâches dans la substance blanche.

L. Bergmann et L. Alexander (1941) ont observé, dans la substance grise ganglionnaire, le long des vaisseaux capillaires et précapillaires, des formations particulières en forme de fuseau ou de sac, très développées et constantes chez l'adulte à partir de la troisième décade de la vie. A l'âge sénile, de telles formations deviennent plus fréquentes et volumineuses au point d'atteindre de 40-100 μ. Les parois de ces formations anévrismales ont une structure endothéliale, en continuité avec celle des capillaires et précapillaires d'où ils prennent naissance. D'après les auteurs, ces dilatations capillaires résulteraient de la disposition particulière des vaisseaux afférents ganglionnaires. En effet, la plupart des rameaux

qui pénètrent dans la capsule du ganglion naissent à angle droit des vaisseaux périvasculaires, et beaucoup d'entre eux naissent à angle aigu et prennent une direction opposée à celle du vaisseau qui leur donne naissance. La lenteur de la circulation intra-ganglionnaire et la diminution de la « vis à tergo » qui en découlent produiraient, à la longue, les dilatations du lit capillaire au sein de la substance grise.

L. Bergman et L. Alexander (1941) expriment encore l'avis qu'il y a probablement un certain rapport entre, d'une part l'altération des vaisseaux et, d'autre part, l'appauvrissement des cellules ganglionnaires, la réduction des fibres des racines postérieures et la dégénérescence des cordons postérieurs de la moelle que l'on peut observer chez l'homme à partir de la troisième décade de la vie. Ceci correspondrait à la réduction progressive de la sensibilité en général et du sens vibratoire en particulier, qui se manifestent habituellement à un âge avancé.

capsule du ganglion naissent à angle droit des vaisseaux
ucoup d'entre eux naissent à angle aigu et prennent une
ie du vaisseau qui leur donne naissance. La lenteur de la
onnaire et la diminution de la « vis à tergo » qui en
à la longue, les dilatations du lit capillaire au sein de la

Alexander (1941) expriment encore l'avis qu'il y a proba-
port entre, d'une part l'altération des vaisseaux et, d'autre
des cellules ganglionnaires, la réduction des fibres des
la dégénérescence des cordons postérieurs de la moelle
hez l'homme à partir de la troisième décade de la vie. Ceci
uction progressive de la sensibilité en général et du sens
r, qui se manifestent habituellement à un âge avancé.

CHAPITRE VI

VASCULARISATION VEINEUSE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE (*)

Le dispositif de la vascularisation veineuse de la moelle épinière est à peu près calqué sur celui de la vascularisation artérielle.

Bien qu'aux XVI[e] et XVII[e] siècles, les anatomistes Sylvius (1555), Vésale (1583), Willis (1664) aient déjà décrit les veines du rachis et du canal vertébral, la première étude fondamentale fut réellement réalisée par G. Brechet (1819-1828); elle a été longtemps oubliée. A. Adamkiewicz (1882), H. Kadyi (1889) ont fait des descriptions déjà précises et très complètes des veines de la moelle épinière. A. Charpy (1921), Th. Suh et L. Alexander (1939), L. L. Tureen (1938), O. V. Batson (1940-1957), H. J. Clemens (1961), K. Oswald (1961) ont fait les travaux principaux. Le travail de H. J. Clemens est particulièrement fondamental. Plus récemment, la question a été abordée par L. A. Gillilan (1970) et par G. Guiraudon, L. Harispe et M. Tadie (1971). Ces derniers auteurs, dans un travail inspiré par J. Aboulker et réalisé sur la moelle thoraco-lombaire de 50 sujets, ont apporté des précisions majeures que l'on trouve dans la thèse de M. Tadie (Paris, 1971).

A partir du réseau capillaire, le sang est drainé par des vaisseaux à disposition radiée (veines centrales et périphériques) qui se déversent dans les veines périmédullaires. De là, il passe par les veines radiculaires antérieures et postérieures. Réuni au sang des volumineux plexus épiduraux dans les veines vertébro-médullaires, il sort du rachis par les trous de conjugaison et va se jeter dans les gros troncs veineux périvertébraux et prévertébraux.

La vascularisation veineuse de la moelle épinière diffère de la vascularisation artérielle par deux points : à l'intérieur de la moelle, les veines ne sont pas absolument satellites des artères, sauf au niveau des sillons médians antérieur et postérieur; à la surface de la moelle, les veines paraissent plus nombreuses sur la face dorsale.

A. — LES VEINES INTRA-MÉDULLAIRES

Comme les artères intra-médullaires, les veines intra-médullaires peuvent être divisées en veines centrales et veines périphériques, mais cette distinction est moins nette que pour les artères.

— *Les veines centrales ou médianes antérieures* émergent du sillon antérieur et se jettent dans la voie longitudinale médiane antérieure correspondante.

(*) Avec la collaboration de M. TRÉMOULET, Chef de Clinique de Neurochirurgie, Toulouse.

— *Les veines périphériques* atteignent la surface de la moelle en différents points. Parmi elles, les plus importantes sont les veines médianes postérieures qui sortent du sillon médian postérieur et les veines radiculaires antérieures et postérieures qui sortent au niveau de l'émergence des racines antérieures et postérieures.

Les veines centrales ou médianes antérieures (ou veines sulco-commissurales) sont disposées, comme les artères homonymes dont elles sont satellites, en un alignement médian sur toute la longueur de la moelle. Elles sont moins nombreuses que les artères centrales et de calibre inférieur. Elles prennent naissance dans la profondeur du sillon, de là le nom de veines sulco-commissurales qu'on leur donne; elles résultent de l'union d'un rameau droit et d'un rameau gauche qui, eux-mêmes naissent de veines dont la disposition ressemble à celle des artères correspondantes. Elles se dirigent en avant et se jettent dans la veine spinale antérieure.

Les territoires dont les veines centrales drainent le sang sont moins étendus que ceux des artères centrales. Ils comprennent les cornes antérieures, la substance grise intermédiaire, la commissure grise antérieure et une partie de la base des cornes postérieures (colonne de Clarke). La partie externe des cornes antérieures, les cornes latérales, la partie interne du cordon latéral et la base des cornes postérieures qui reçoivent aussi leur vascularisation artérielle des artères centrales se déversent, par contre, dans les veines périphériques ou dans les veines médianes postérieures.

Th. Suh et L. Alexander (1939) ont mis en évidence un large canal veineux qui naît de chaque côté des branches verticales ascendantes et descendantes des veines centrales, se porte en arrière, atteint la surface au niveau de la région radiculaire postérieure et se jette dans la veine postéro-latérale; le vaisseau dont le calibre reste uniforme constituerait, d'après eux, une anastomose destinée à régler la pression veineuse de la moelle (fig. 81).

Les veines médianes postérieures sont les plus constantes parmi les autres veines intra-médullaires; elles sont en nombre inférieur, mais d'un calibre beaucoup plus grand que les artères correspondantes. Elles prennent naissance au niveau de la commissure grise par la réunion d'un rameau droit et d'un rameau gauche; elles parcourent le septum postérieur; elles reçoivent souvent une voie particulièrement importante qui draine le sang veineux de la colonne de Clarke. Elles se jettent dans un canal veineux longitudinal situé dans le sillon médian postérieur : la veine spinale postérieure.

Le territoire des veines médianes postérieures est plus étendu que celui des artères correspondantes; il comprend la commissure grise postérieure, la colonne de Clarke, une partie de la substance grise intermédiaire et les faisceaux de Goll et Burdach.

De nombreuses veines périphériques situées entre les veines médianes antérieure et postérieure, plus importantes que les artères correspondantes, drainent la partie périphérique de la substance grise et de la substance blanche. Elles vont directement à la périphérie de la moelle. Les veines qui correspondent aux faisceaux radiculaires antérieurs et postérieurs sont particulièrement développées et constantes. Les veines radiculaires antérieures qui circulent entre les faisceaux de fibres viennent des cornes antérieures; A. Adamkiewicz (1882) les signalait

phériques atteignent la surface de la moelle en différents
s plus importantes sont les veines médianes postérieures
nédian postérieur et les veines radiculaires antérieures et
nt au niveau de l'émergence des racines antérieures et

s ou médianes antérieures (ou veines sulco-commissurales)
les artères homonymes dont elles sont satellites, en un
toute la longueur de la moelle. Elles sont moins nom-
centrales et de calibre inférieur. Elles prennent naissance
sillon, de là le nom de veines sulco-commissurales qu'on
ent de l'union d'un rameau droit et d'un rameau gauche
t de veines dont la disposition ressemble à celle des artères
se dirigent en avant et se jettent dans la veine spinale

les veines centrales drainent le sang sont moins étendus
entrales. Ils comprennent les cornes antérieures, la subs-
e, la commissure grise antérieure et une partie de la base
(colonne de Clarke). La partie externe des cornes anté-
rales, la partie interne du cordon latéral et la base des
reçoivent aussi leur vascularisation artérielle des artères
ar contre, dans les veines périphériques ou dans les veines

ander (1939) ont mis en évidence un large canal veineux
des branches verticales ascendantes et descendantes des
te en arrière, atteint la surface au niveau de la région
et se jette dans la veine postéro-latérale; le vaisseau dont
ne constituerait, d'après eux, une anastomose destinée à
euse de la moelle (fig. 81).

es postérieures sont les plus constantes parmi les autres
; elles sont en nombre inférieur, mais d'un calibre beau-
es artères correspondantes. Elles prennent naissance au
e grise par la réunion d'un rameau droit et d'un rameau
t le septum postérieur; elles reçoivent souvent une voie
ante qui draine le sang veineux de la colonne de Clarke.
n canal veineux longitudinal situé dans le sillon médian
ale postérieure.
ines médianes postérieures est plus étendu que celui des
; il comprend la commissure grise postérieure, la colonne
la substance grise intermédiaire et les faisceaux de Goll

nes périphériques situées entre les veines médianes anté-
us importantes que les artères correspondantes, drainent
e la substance grise et de la substance blanche. Elles vont
érie de la moelle. Les veines qui correspondent aux fais-
ieurs et postérieurs sont particulièrement développées et
adiculaires antérieures qui circulent entre les faisceaux
cornes antérieures; A. Adamkiewicz (1882) les signalait

déjà. Les veines radiculaires postérieures débouchent dans le sillon collatéral postérieur et constituent une voie de drainage importante; elles drainent le sang de la corne postérieure, y compris d'une partie de la colonne de Clarke et de la

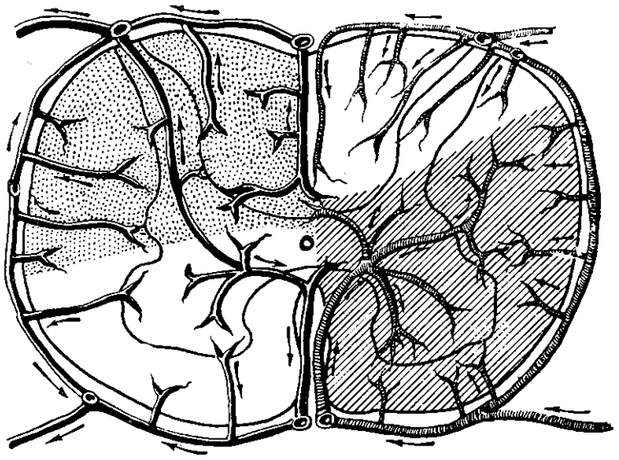


FIG. 81. — *Distribution des artères et des veines intramédullaires.* A gauche, les artères et le territoire de l'artère spinale antérieure. A droite, les veines et le territoire de la veine spinale.
(D'après P. SARTESCHI et A. GIANNINI.)

formation réticulée. Une veine interfuniculaire chemine parfois entre les faisceaux de Goll et de Burdach.

Comme pour la vascularisation artérielle, on constate que la base des cornes postérieures (colonne de Clarke) représente un point de rencontre des différents systèmes.

B. — LES VEINES PÉRIMÉDULLAIRES

A la surface de la moelle, et dans l'épaisseur de la pie-mère, se trouve un réseau anastomotique veineux dont la distribution et les ramifications ne suivent pas le réseau artériel superficiel. Les veines sont plus nombreuses et plus grosses sur la face dorsale de la moelle que sur la face ventrale, ce qui correspond à la plus grande fréquence des varices sur la face dorsale. Sur les faces latérales, il y a au contraire peu de veines.

Comme pour le réseau artériel périmédullaire, on peut reconnaître l'existence de voies longitudinales : deux impaires et médianes suivent les sillons antérieur et postérieur; ce sont les veines spinales antérieure et postérieure; deux autres paires latérales, moins importantes, cheminent de chaque côté le long de l'émergence des racines spinales.

1° *La veine spinale antérieure.*

Cette veine est située dans le sillon médian antérieur avec l'artère ou voie artérielle spinale antérieure qui, généralement, est antérieure et la recouvre. Son trajet sinueux fait que la veine sort souvent du sillon et se trouve à droite ou à gauche de l'artère.

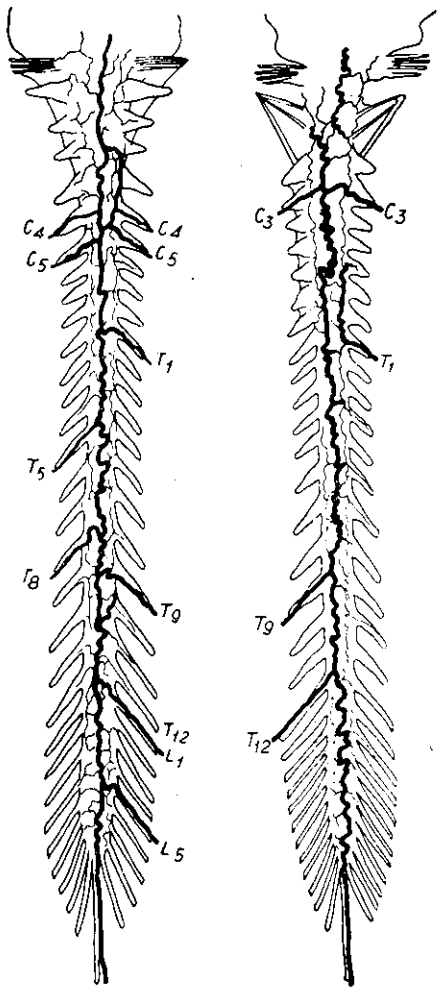


FIG. 82.

Les veines de la moelle. Les veines radiculaires, les veines spinales antérieures et postérieures.

(D'après TH. SUH et L. ALEXANDER, 1939.)

Comme l'artère, la veine n'a pas un calibre uniforme : au niveau du renflement cervical, elle est développée; sur les segments thoraciques, elle est mince et parfois incomplète. Certains auteurs (Th. Suh et L. Alexander, 1939), représentent une voie spinale antérieure continue; d'autres, au contraire, disent qu'elle peut être interrompue au niveau des segments moyens de la moelle thoracique. Sur les segments lombo-sacrés, où elle est accolée à la branche descendante de l'artère du renflement lombaire, elle est très développée; après quoi, elle décroît progressivement sur le *filum terminale*. K. Jellinger (1966) donne les chiffres

1° *La veine spinale antérieure.*

ıée dans le sillon médian antérieur avec l'artère ou voie
eure qui, généralement, est antérieure et la recouvre. Son
la veine sort souvent du sillon et se trouve à droite ou

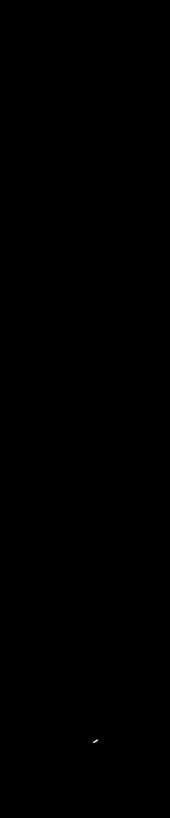


FIG. 82.

Les veines de la moelle. Les veines radiculaires, les veines spinales antérieures et postérieures.

(D'après TH. SUH et L. ALEXANDER, 1939.)

veine n'a pas un calibre uniforme : au niveau du renfle-
éveloppée; sur les segments thoraciques, elle est mince et
tains auteurs (Th. Suh et L. Alexander, 1939), représen-
ntérieure continue; d'autres, au contraire, disent qu'elle
au niveau des segments moyens de la moelle thoracique.
o-sacrés, où elle est accolée à la branche descendante de
ombaire, elle est très développée; après quoi, elle décroît
filum terminale. K. Jellinger (1966) donne les chiffres

suivants : moelle cervicale : 300-400 μ; moelle dorsale : 180 à 800 μ; moelle lombo-sacrée : 600 à 900 μ. Sur la partie cervicale supérieure et sur le segment thoracique, la veine spinale antérieure est en général double, alors que, au niveau du renflement lombaire, elle est presque toujours unique (L. L. Tureen, 1938).

La veine spinale antérieure reçoit les veines centrales et d'autres petites veines venues des cordons antérieurs; elle est unie par de nombreux rameaux qui cheminent sur la face antérieure de la moelle aux veines radiculaires antérieures. La veine spinale antérieure se continue en haut avec les veines du tronc cérébral.

2° *La veine spinale postérieure.*

Cette veine est d'un calibre plus grand et plus uniforme que celui de la veine spinale antérieure. Elle est située sur le sillon médian postérieur. Elle est généralement plus sinueuse que l'artère spinale antérieure. Elle reçoit de nombreuses collatérales.

En haut, la veine se termine tantôt dans une veine radiculaire postérieure des premiers segments cervicaux, tantôt sur le bulbe au niveau des nerfs crâniens IX, X, XI, tantôt par division en deux rameaux qui, latéralement, perforent la dure-mère indépendamment des racines cervicales (L. L. Tureen, 1938).

Dans la région cervicale, le tronc veineux postérieur est très développé. Dans la région thoracique, il est plus fin et irrégulier et souvent remplacé par deux veines anastomosées. Sur la moelle lombo-sacrée, la veine spinale postérieure s'étend jusqu'au cône médullaire; elle ne se prolongerait pas sur le *filum. terminale*. En fait, on peut parfois au contraire suivre une veinule de petit calibre sur cette formation.

Le calibre de la veine spinale postérieure varie suivant les niveaux et suivant les sujets. Il augmente généralement de haut en bas et augmente comme celui de toutes les veines avec l'âge.

Dans la veine spinale postérieure, se jettent les veines médianes, postérieures et les rameaux de la face dorsale de la moelle. De là, le sang va vers les veines radiculaires postérieures (fig. 81).

3° *Les veines spinales antéro-latérales et postéro-latérales.*

Sur la surface des cordons antéro-latéraux, cheminent des canaux veineux anastomosés. Les mailles du réseau veineux, bien que très variables, répètent parfois le dessin du réseau artériel. Certains ont une direction verticale et vont constituer, derrière les racines antérieures, une voie veineuse *antéro-latérale*. Ces veines sont très apparentes sur le segment cervical; elles sont, par contre, moins développées sur les segments thoraciques et lombaires. Les veines spinales antéro-latérales reçoivent le sang des cordons antérieurs et latéraux et sont reliées aux veines spinales antérieures et aux veines radiculaires antérieures.

A. Adamkiewicz (1882) a pu déjà décrire une voie *postéro-latérale* veineuse qui chemine le long de la ligne d'émergence des racines postérieures; ces veines constituent rarement une voie complète. Elles sont reliées aux veines radiculaires postérieures.

Les voies longitudinales sont réunies par des veines transversales horizontales ou obliques. L'ensemble constitue un réseau veineux périmédullaire fonctionnel qui se draine vers les veines radiculaires de l'étage correspondant. G. Di Chiro et J. L. Doppman (1970) ont constaté, dans des angiographies réalisées pour des angiomes ou des tumeurs médullaires, que les veines de la moitié supérieure de la moelle cervicale se drainent vers les sinus crâniens et celles de la moitié inférieure vers le cône médullaire et les veines iliaques et sacrées. R. Djindjian (1959) admet aussi que même sur la moelle thoracique et lombaire normale, la circulation veineuse de retour se fait dans un sens longitudinal vers le haut et vers le bas plus que dans le sens transversal vers les veines radiculaires; dans la région cervicale, la moitié supérieure se draine vers les sinus intracrâniens, la moitié inférieure dans les veines et la base du cou.

C. — LES VEINES RADICULAIRES

A partir du réseau périmédullaire, le sang veineux chemine vers les plexus vertébraux en passant par les veines radiculaires antérieures et postérieures. Leur distribution, comme celle des artères radiculaires, est irrégulière, mais ne correspond pas en général à la même racine. La présence d'une artère et d'une veine radiculaire sur une même racine est rare. Il est assez fréquent qu'une petite veine radiculaire accompagne une grosse artère. L. L. Tureen (1938) l'avait déjà remarqué.

Le trajet des veines radiculaires ne suit pas toujours celui des racines. Souvent, deux ou trois veines courent d'abord le long des radicules et se réunissent ensuite en un seul tronc avant de perforer la dure-mère (G. Lazorthes, 1962) par un orifice qui peut être indépendant dans la région thoracique (E. Ferri et L. Frignani, 1964) et, parfois aussi, dans la région cervicale (I. M. Turnbull, A. Brieg et O. Hassler, 1966).

Le nombre des veines radiculaires est supérieur à celui des artères correspondantes. D'après L. L. Tureen (1938), il en existe 35 à 60 au total avec une moyenne de 38; d'après H. V. Quast (1961), le nombre moyen est 56. Les veines radiculaires antérieures seraient au nombre de 24 à 25 et les veines radiculaires postérieures environ 20. Puisqu'il y a 62 racines rachidiennes (31 de chaque côté), une racine sur deux, et parfois plus, serait donc accompagnée par une veine.

Il est intéressant d'étudier le chiffre respectif des veines radiculaires antérieures et postérieures.

Les veines radiculaires antérieures atteindraient, d'après une étude faite par K. Jellinger (1966) à partir des publications antérieures, un total variant dans ses chiffres extrêmes de 11 à 40, une marge de variation moyenne de 20-28 et une moyenne de 23. Au niveau de la moelle cervicale, les chiffres varient entre 6-15 (H. Kadyi, 1889) et 3-8 (H. V. Quast, 1961) avec une moyenne de 5 veines; au niveau de la moelle thoracique, entre 6-27 avec une moyenne de 14 veines; au niveau de la moelle lombaire, entre 0-9 avec une moyenne de 4; au niveau de la moelle sacrée, 1 veine dans 50 % des cas. D'après L. A. Gillilan (1970), il y a

inales sont réunies par des veines transversales horizon-
semble constitue un réseau veineux périmédullaire fonc-
vers les veines radiculaires de l'étage correspondant.
ppman (1970) ont constaté, dans des angiographies réa-
s ou des tumeurs médullaires, que les veines de la moitié
e cervicale se drainent vers les sinus crâniens et celles
vers le cône médullaire et les veines iliaques et sacrées.
net aussi que même sur la moelle thoracique et lombaire
veineuse de retour se fait dans un sens longitudinal vers
s que dans le sens transversal vers les veines radiculaires:
, la moitié supérieure se draine vers les sinus intracrâ-
e dans les veines et la base du cou.

— LES VEINES RADICULAIRES

périmédullaire, le sang veineux chemine vers les plexus
ar les veines radiculaires antérieures et postérieures. Leur
e des artères radiculaires, est irrégulière, mais ne corres-
a même racine. La présence d'une artère et d'une veine
me racine est rare. Il est assez fréquent qu'une petite
pagne une grosse artère. L. L. Tureen (1938) l'avait déjà

es radiculaires ne suit pas toujours celui des racines.
veines courent d'abord le long des radicules et se réu-
eul tronc avant de perforer la dure-mère (G. Lazorthes,
peut être indépendant dans la région thoracique (E. Ferri
, parfois aussi, dans la région cervicale (I. M. Turnbull,
66).

es radiculaires est supérieur à celui des artères corres-
. Tureen (1938), il en existe 35 à 60 au total avec une
H. V. Quast (1961), le nombre moyen est 56. Les veines
seraient au nombre de 24 à 25 et les veines radiculaires
Puisqu'il y a 62 racines rachidiennes (31 de chaque côté).
parfois plus, serait donc accompagnée par une veine.
étudier le chiffre respectif des veines radiculaires anté-

s antérieures atteindraient, d'après une étude faite par
tir des publications antérieures, un total variant dans ses
à 40, une marge de variation moyenne de 20-28 et une
veau de la moelle cervicale, les chiffres varient entre
3-8 (H. V. Quast, 1961) avec une moyenne de 5 veines;
horacique, entre 6-27 avec une moyenne de 14 veines; au
baire, entre 0-9 avec une moyenne de 4; au niveau de
dans 50 % des cas. D'après L. A. Gillilan (1970), il y a

à peu près autant de veines radiculaires antérieures que d'artères radiculaires antérieures (8 à 14).

Les veines radiculaires postérieures seraient, d'après les différents auteurs dont K. Jellinger (1966) relève les résultats, plus nombreuses que les veines radiculaires antérieures. Le chiffre total varie de 12 à 42 avec un maximum à 27-29 et une moyenne à 25. Au niveau de la moelle cervicale, les chiffres extrêmes sont 2 et 12 et la moyenne 4 à 6; au niveau de la moelle thoracique, les chiffres équivalents sont 7-20 et 14; au niveau de la moelle lombaire, 0-9 et 5; au niveau de la moelle sacrée, 0-9 et la présence d'une veine 1 fois sur 4. La répartition ne paraît donc pas différente de celle des veines radiculaires antérieures. Leur nombre est pourtant supérieur, L. A. Gillilan (1970) le confirme.

Le calibre général des veines radiculaires est moins variable que celui des artères radiculaires. A l'inverse des artères radiculaires, les veines radiculaires antérieures ont un calibre légèrement inférieur ou égal à celui des veines radiculaires postérieures.

La question est de savoir si, comme pour les artères radiculaires, il y a des veines dont le ***territoire de drainage*** correspond à la moelle et d'autres qui n'y correspondent pas. L. L. Tureen (1938) décrit pour les segments cervical et thoracique une série de veines de distribution très irrégulières : du 3e segment cervical au 9e segment thoracique, il y aurait 12 petites veines radiculaires et 2 grosses veines, du 9e segment thoracique au 2e lombaire, une à trois veines plus importantes, du 2e au 5e segment lombaire, souvent une grosse veine radiculaire correspondant à la grande veine radiculaire, au niveau des premiers segments sacrés un large vaisseau constitué par une veine radiculaire.

Th. Suh et L. Alexander (1939) pensent que les veines radiculaires, qui sont de véritables voies d'écoulement pour la moelle, sont nettement inférieures au nombre avancé par L. L. Tureen (1938) : ils n'en retiennent que 7 pour les veines radiculaires antérieures et autant pour les veines radiculaires postérieures (fig. 82). Quoique soumise à variations, la disposition des veines radiculaires serait, d'après ces auteurs, relativement fixe. Ils signalent une veine radiculaire au niveau des 3e et 5e segments cervicaux, une veine dans la partie supérieure de la moelle dorsale (5e, 6e segment), une dans la partie moyenne de la moelle dorsale (5e, 6e segment), une ou deux entre le 7e et le 9e segment dorsal, une ou deux également entre le 9e et le 12e segment dorsal, une grande radiculaire entre le 12e segment dorsal et le 3e lombaire, le plus souvent à gauche (fig. 82).

Existe-t-il ***une veine du renflement lombaire*** satellite de l'artère du renflement lombaire ?

Une grande veine radiculaire antérieure équivalente de la grande artère radiculaire d'Adamkiewicz (ou artère du renflement lombaire) a été identifiée par H. Kadyi (1889) dans 80 % des cas; H. J. Clemens et H. V. Quast (1960) la retrouvent dans 80 % des cas; K. Jellinger (1966) l'a reconnue dans 90 % des cas; entre D6-S3, le plus souvent sur L2 ou L1, et comme l'artère correspondante, située plus souvent à gauche. G. Guiraudon, L. Harispe et M. Tadié (1971) confirment la présence d'une grande veine radiculaire lombaire antérieure dans 80 % des cas, située plus souvent à gauche comme l'artère, et habituellement plus bas que l'artère.

Une grande veine radiculaire postérieure a été signalée déjà par A. Adamkiewicz (1882) dans 84 % des cas. K. Jellinger (1966) confirme son existence dans 80 % des cas. Cette veine se trouve entre D9 et S3 avec une situation plus fréquente en L1, puis D12 et L2. Elle est généralement plus volumineuse que la grande veine radiculaire antérieure correspondante.

D'après G. Guiraudon, L. Harispe et M. Tadié (1971), la veine postérieure du renflement existe dans tous les cas qu'ils ont étudiés. Volumineuse, elle suit le plus souvent l'une des racines L3, L4 ou L5 du côté gauche. Elle serait toujours à un niveau différent de la veine antérieure du renflement lombaire. Des veinules suivent chacune des racines antérieures ou postérieures, ainsi que les faces antérieure et postérieure du *filum terminale* pour converger vers les veines antérieure et postérieure du renflement lombaire. Parfois, il existe une veine radiculaire de drainage prédominante accompagnant les racines S3 ou S4, mais dans 80 % des cas, le drainage ne se fait que vers les veines du renflement lombaire.

FIG. 83. — *La grande veine radiculaire antérieure du renflement lombaire.* (Cliché de G. GUIRAUDON, L. HARISPE et M. TADIÉ, 1971.)

EN CONCLUSION, l'anatomie humaine, comme l'anatomie comparée, confirme que la disposition veineuse est l'inverse de la disposition artérielle : la distribution segmentaire persiste au nivau des veines plus qu'au niveau des artères; les veines radiculaires postérieures sont de calibre supérieur aux veines radiculaires antérieures.

La présence de *valvules* dans les veines radiculaires est une question qui se pose encore. Rappelons que classiquement, la présence de valvules sur les veines du système nerveux central, cerveau ou moelle, sur les sinus crâniens, sur les plexus rachidiens, n'est pas signalée, elle est même niée par les auteurs. Le fait est pourtant, comme nous l'avons signalé dans le chapitre consacré aux techniques de recherche (v. p. 9), qu'une injection faite dans une veine rénale ou dans une veine iliaque ne pénètre que dans les plexus extra- et intra-rachidiens et n'atteint jamais les veines de la moelle; ce qui ne peut être expliqué que par la présence d'une valvule sur les veines radiculaires (H. J. Clemens, 1961). V. L. Lesnitsky, Jarovaia, Petrovski et Zavgorodnaia (1970) décrivent sur les veines radiculaires une valvule située juste avant la traversée de la dure-mère. Ces auteurs ne donnent pas de précision ni descriptive ni iconographique. Cette valvule assurerait l'indépendance entre les territoires veineux intra-dural et extra-dural, c'est-à-dire de la moelle et du rachis; elle protégerait en somme la circulation veineuse de la moelle contre toute élévation de la pression veineuse des gros troncs veineux prévertébraux; cela est très satisfaisant pour l'esprit, mais demande une confirmation qui ne peut venir que d'études histologiques...

radiculaire postérieure a été signalée déjà par A. Adam-
4 % des cas. K. Jellinger (1966) confirme son existence
te veine se trouve entre D9 et S3 avec une situation plus
D12 et L2. Elle est généralement plus volumineuse que la
re antérieure correspondante.
on, L. Harispe et M. Tadié (1971), la veine postérieure du
tous les cas qu'ils ont étudiés. Volumineuse, elle suit le
racines L3, L4 ou L5 du côté gauche. Elle serait toujours
e la veine antérieure du renflement lombaire. Des veinules
cines antérieures ou postérieures, ainsi que les faces anté-
rieure et postérieure du *filum terminale* pour converger vers les veines antérieure et postérieure du renflement lombaire. Parfois, il existe une veine radiculaire de drainage prédominante accompagnant les racines S3 ou S4, mais dans 80 % des cas, le drainage ne se fait que vers les veines du renflement lombaire.

ine radi-
enflement
GUIRAU-
. TADIÉ,

EN CONCLUSION, l'anatomie humaine, comme l'anatomie comparée, confirme que la disposition veineuse est l'inverse de la disposition artérielle : la distribution segmentaire persiste au nivau des veines plus qu'au niveau des artères; les veines radiculaires postérieures sont de calibre supérieur aux veines radiculaires antérieures.

La présence de *valvules* dans les veines radiculaires est une question qui se pose encore. Rappelons que classiquement, la présence de valvules sur les veines du système nerveux central, cerveau ou moelle, sur les sinus crâniens, sur les plexus rachidiens, n'est pas signalée, elle est même niée par les auteurs. Le fait est pourtant, comme nous l'avons signalé dans le chapitre consacré aux techniques de recherche (v. p. 9), qu'une injection faite dans une veine rénale ou dans
énètre que dans les plexus extra- et intra-rachidiens et
nes de la moelle; ce qui ne peut être expliqué que par la
ur les veines radiculaires (H. J. Clemens, 1961). V. L. Les-
ski et Zavgorodnaia (1970) décrivent sur les veines radicu-
e juste avant la traversée de la dure-mère. Ces auteurs ne
on ni descriptive ni iconographique. Cette valvule assu-
tre les territoires veineux intra-dural et extra-dural, c'est-
rachis; elle protégerait en somme la circulation veineuse
élévation de la pression veineuse des gros troncs veineux
très satisfaisant pour l'esprit, mais demande une confir-
nir que d'études histologiques...

D. — LES VEINES ET PLEXUS VEINEUX INTRA-RACHIDIENS

Les veines radiculaires antérieures et postérieures unies parfois en un tronc commun traversent la dure-mère, l'espace épidural et sortent du rachis par les trous de conjugaison.

— La dure-mère rachidienne est pourvue de veines; on les injecte difficilement si ce n'est par l'intermédiaire d'anastomoses artério-veineuses comparables à celles qui ont été décrites il y a longtemps au niveau de la dure-mère crânienne (J. Michel, 1972; K. Langer, 1887). En principe, chaque artère dure-mérienne est accompagnée par deux veines. Au niveau de la région cervicale, il existe des sinus à l'intérieur de la dure-mère (voir plus loin, p. 121).

— Avant la traversée du trou de conjugaison, les veines radiculo-médullaires et celles qui drainent les plexus intra-rachidiens s'unissent pour constituer les veines ou plexus de conjugaison qui se jettent suivant l'étage, dans les veines vertébrales, intercostales, lombaires ou sacrées.

Les plexus intra-rachidiens s'étendent entre la dure-mère et le périoste, c'est-à-dire dans l'espace épidural de la base du crâne, où elles s'anastomosent avec les veines intra-crâniennes, jusqu'au coccyx. Ils ont été décrits il y a longtemps par G. Brechet (1819) (fig. 85 et 86) et plus récemment par d'autres auteurs O. V. Batson (1940), R. Djindjian et P. Dorland (1960). Ils sont formés par 4 vaisseaux longitudinaux qui communiquent par des anastamoses transversales.

Les veines longitudinales ne constituent pas des conduits réguliers; elles présentent de nombreux dédoublements insulaires, elles s'anastomosent fréquemment entre elles, de telle sorte que leur dénomination plus exacte est celle de plexus veineux longitudinaux.

FIG. 84. — *Les veines accompagnant les racines de la queue de cheval sont nombreuses* (comme les artères). Radiographie après injection de baryte colloïdal dans la grande veine radiculaire antérieure. (Cliché de G. GUIRAUDON, L. HARISPE et M. TACHÉ, 1971.)

Les plexus veineux longitudinaux se distinguent en antérieurs et postérieurs.

— *Les plexus veineux longitudinaux antérieurs* sont au nombre de deux, l'un droit, l'autre gauche, situés symétriquement sur la partie la plus externe du corps vertébral, tout près du pédicule et du trou de conjugaison.

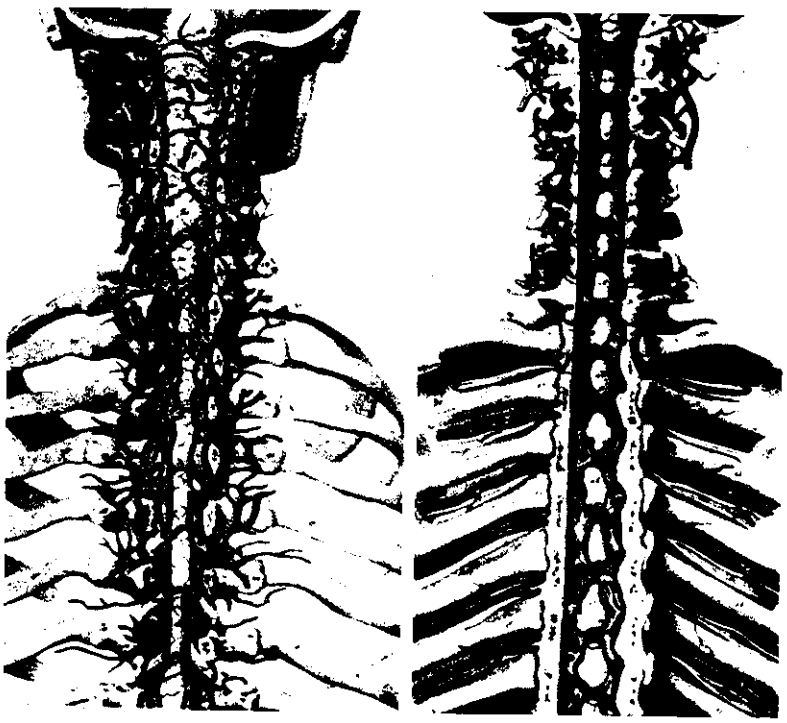


FIG. 85. — *Les plexus intrarachidiens.* (D'après G. BRESCHET, 1819.)

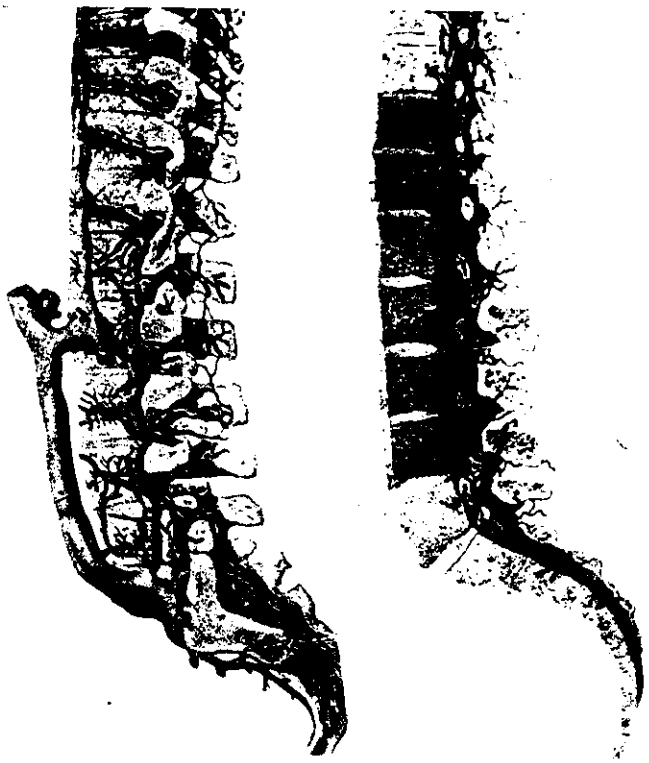
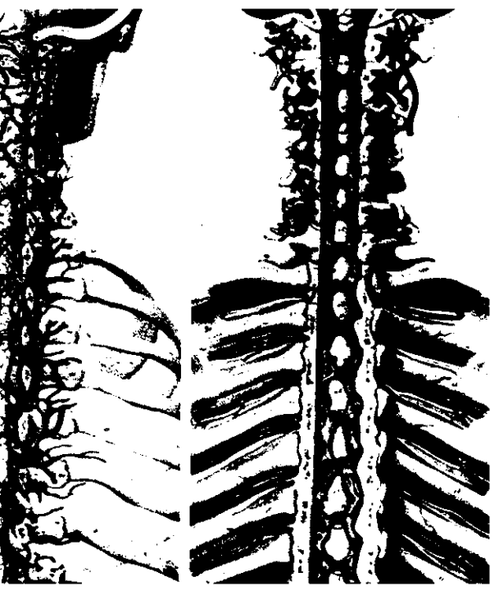


FIG. 86.
Les plexus intrarachidiens.
(D'après G. BRESCHET, 1819.)



s plexus intrarachidiens. (D'après G. BRESCHET, 1819.)

FIG. 86.
Les plexus intrarachidiens.
(D'après G. BRESCHET, 1819.)

— *Les plexus veineux longitudinaux postérieurs,* moins volumineux que les précédents, reposent de chaque côté de la ligne médiane sur la série des lames. Ils peuvent s'étendre sur toute la longueur du rachis ou n'être présents que dans les régions thoracique et lombaire.

Les plexus veineux transversaux. — Les quatre veines longitudinales ou plexus longitudinaux sont reliés entre eux au niveau de chacune des pièces de

FIG. 87. — *Les plexus intrarachidiens.*
En avant, les deux volumineuses voies longitudinales antérieures anastomosées entre elles au niveau de chaque vertèbre et unies aux veines prévertébrales (azygos) par les veines du sinus vertébral.
Latéralement, l'anneau veineux du trou de conjugaison que traverse le nerf rachidien.
En arrière, les deux voies longitudinales postérieures et leur anastomose transversale au niveau des arcs vertébraux et des ligaments jaunes.
(D'après M. H. VON LUDINGHAUSEN, 1964.)

la colonne vertébrale par des anastomoses transversales, constituant également de véritables plexus. On distingue quatre anastomoses transversales.

— *Les plexus transverses antérieurs* sont étendus d'un plexus longitudinal antérieur à l'autre.

Ils reçoivent les veines des corps vertébraux qui, au nombre de cinq à huit, occupent le plan horizontal de la vertèbre à égale distance des deux disques. Les veines affectent une disposition radiée, d'où leur nom de veines radiées.

FIG. 88.
Les plexus veineux intrarachidiens et extrarachidiens.

Fœtus de 8 mois, injection totale par voie ombilicale. On voit d'avant en arrière, les veines du corps vertébral, le plexus transverse antérieur où elles se jettent, les plexus longitudinaux intrarachidiens (les antérieurs plus volumineux que les postérieurs), les veines du trou de conjugaison, les veines intra-épineuses. (Photo de rachis diaphanisé.)

Elles commencent à la périphérie du corps et convergent vers le milieu de sa face postérieure. Elles se jettent dans les plexus transverses antérieurs soit directement, soit après s'être fusionnées en un ou deux troncs.

Les veines radiées communiquent, d'autre part, sur la face antérieure du corps vertébral avec les veines extra-rachidiennes antérieures. On peut les considérer comme des anastomoses entre les circulations veineuses intra-rachidienne et extra-rachidienne.

— *Les plexus transverses postérieurs* unissent les plexus longitudinaux entre eux. Ils reçoivent quelques branches des veines extra-rachidiennes postérieures et aussi de nombreuses veinules provenant des lames, des apophyses articulaires et transverses.

— *Les plexus transverses latéraux* sont tendus entre les plexus antérieurs et postérieurs de chaque côté au niveau des pédicules. Ils sont au-dessus et au-dessous des trous de conjugaison qu'ils entourent.

Plexus longitudinaux et plexus transverses forment donc un véritable anneau veineux autour de la dure-mère.

FIG. 89. — *Veines et plexus rachidiens et intrarachidiens chez l'adulte.*
(D'après R. DJINDJIAN, 1959.)

FIG. 88.
Les plexus veineux intrarachidiens et extrarachidiens.
Fœtus de 8 mois, injection totale par voie ombilicale. On voit d'avant en arrière, les veines du corps vertébral, le plexus transverse antérieur où elles se jettent, les plexus longitudinaux intrarachidiens (les antérieurs plus volumineux que les postérieurs), les veines du trou de conjugaison, les veines intra-épineuses. (Photo de rachis diaphanisé.)

périphérie du corps et
ieu de sa face posté-
dans les plexus trans-
irectement, soit après
ou deux troncs.
communiquent, d'au-
térieure du corps ver-
xtra-rachidiennes anté-
onsidérer comme des
circulations veineuses
tra-rachidienne.

ansverses postérieurs
gitudinaux entre eux.
branches des veines
térieures et aussi de
ovenant des lames, des
et transverses.

nsverses latéraux sont
s antérieurs et posté-
u niveau des pédicules.
u-dessous des trous de
urent.
aux et plexus trans-
véritable anneau vei-
e-mère.

FIG. 89. — *Veines et plexus rachidiens et intrarachidiens chez l'adulte.*
(D'après R. DJINDJIAN, 1959.)

Les limites supérieure et inférieure des plexus intra-rachidiens. — En haut, le premier cercle veineux rachidien entoure le trou occipital. On le désigne sous le nom de sinus circulaire du trou occipital, sinus atlanto-occipital ou plexus basilaire. Il reçoit des veines radiculaires du bulbe, il présente de larges anastomoses avec les sinus endocrâniens : en avant avec le sinus occipital transverse ou antérieur, en arrière avec les sinus occipitaux postérieurs, latéralement avec le plexus du confluent condylien antérieur.

En bas, les plexus rachidiens diminuent d'importance dans le canal sacré. Au-dessous du cône dural, plexus postérieurs et antérieurs s'unissent.

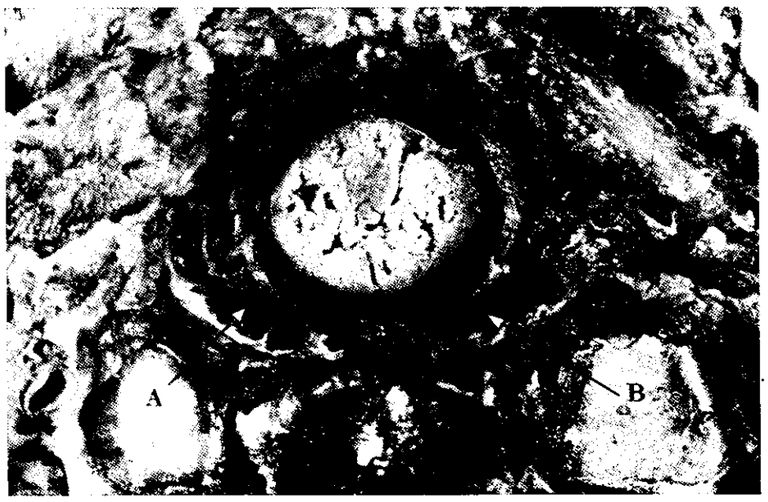


FIG. 90. — *Coupe passant entre atlas et axis* (vue antéro-postérieure). *A* et *B* représentent les deux sinus intravertébraux situés de part et d'autre du ligament vertébral longitudinal postérieur. (D'après M. H. VON LUDINGHAUSEN, 1964.)

La structure. — Les veines intra-rachidiennes ont des parois minces, mais possèdent les trois tuniques habituelles. Elles se distinguent donc des sinus crâniens. D'après H. J. Clemens (1961), elles sont pourvues d'une musculature lisse qui permet les variations de calibre. Certains auteurs les ont considérées comme des sinus (J. Tandler, 1926; W. Spalteholz, 1954; J. R. M. Innes et L. Z. Saunders, 1962). M. H. von Ludinghausen (1964) a démontré que les plexus intra-rachidiens de la région cervicale ont la structure des sinus crâniens, puisqu'ils sont constitués par une enveloppe fibreuse revêtue d'un endothélium. Sur la coupe d'une vertèbre cervicale, on voit les deux sinus veineux cervicaux de chaque côté du ligament vertébral longitudinal postérieur (fig. 90); latéralement, ils rejoignent la veine vertébrale qui entoure l'artère vertébrale à la manière d'un plexus (fig. 91).

Les veines des plexus intra-rachidiens présentent de nombreuses valvules. Celles-ci ont leur concavité tournée vers les veines caves. Elles ont donc pour rôle d'empêcher le sang extra-rachidien de refluer dans le canal vertébral.

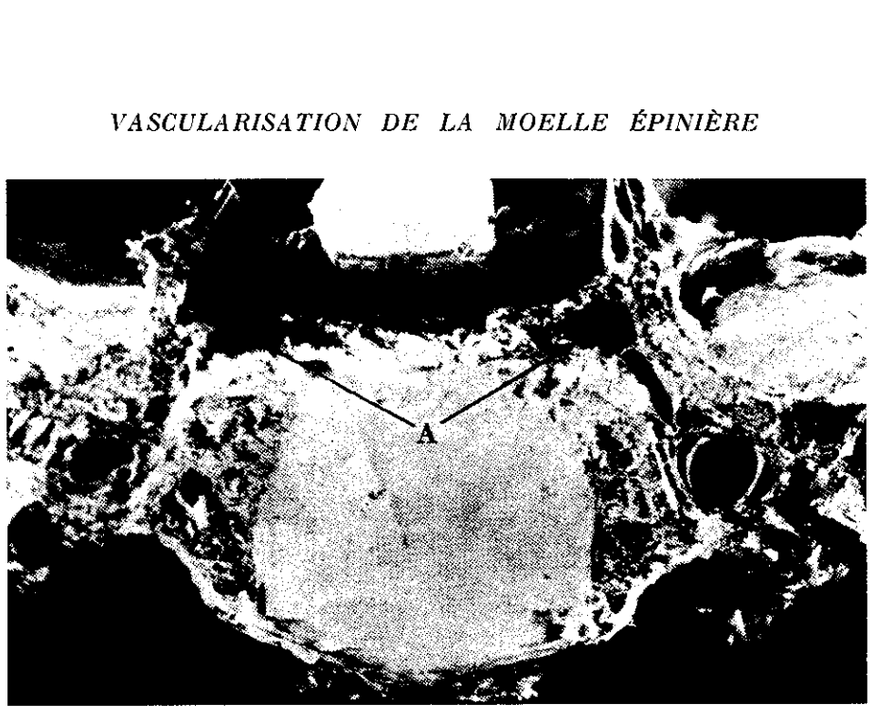


FIG. 91. — *Coupe passant par C4* (vue antéro-postérieure). *A* représente les sinus veineux intravertébraux qui sont réunis aux plexus de la veine vertébrale, nettement visible à droite. (D'après M. H. LUDINGHAUSEN, 1964.)

E. — LES VEINES OU PLEXUS DE CONJUGAISON

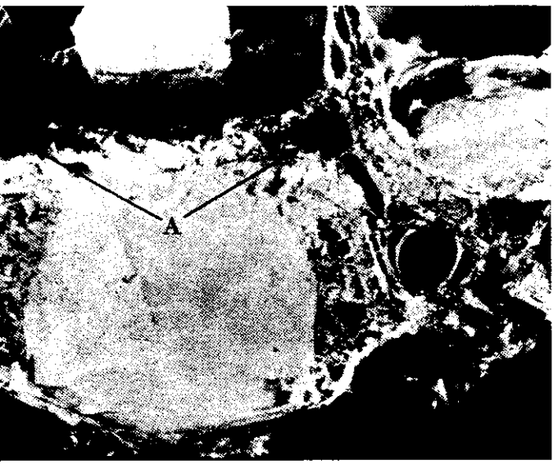
Ramenant le sang veineux médullaire et rachidien, des canaux collecteurs, très variables en nombre et en volume, se dirigent de chaque côté transversalement vers les trous de conjugaison : ce sont les veines ou plexus de conjugaison. Ils relient les veines intra-rachidiennes aux veines extra-rachidiennes.

D'après Walter (1885), il existerait quatre veines : deux supérieures et deux inférieures, occupant les angles du canal de conjugaison. Mais ces veines sont toujours plexiformes; elles s'envoient des anastomoses transversales également plexiformes et irrégulières. Il en résulte donc que les racines, puis les nerfs rachidiens, cheminent au niveau des trous ou canaux de conjugaison au centre d'un véritable plexus veineux.

Racines et nerfs rachidiens sont entourés par une gaine dure-mérienne qui se prolonge jusqu'au trou de conjugaison; autour de cette gaine sont les plexus veineux.

Certains auteurs, H. H. M. Woollam et J. W. Millen (1958), J. Welch et J. Pollay (1963), ont démontré l'existence de bourgeons, et même de vraies villosités arachnoïdiennes qui plongent dans la lumière des veines et peuvent présenter des voies de résorption spinale du liquide céphalo-rachidien, analogues à celles des granulations de Pacchioni intra-crâniennes (fig. 92).

Les veines de conjugaison aboutissent dans la région cervicale aux veines vertébrales, aux veines jugulaires postérieures et aux troncs veineux brachio-céphaliques et, par eux, à la veine cave supérieure. Dans les régions thoracique et lombaire, ces veines vont se terminer par l'intermédiaire des veines inter-



passant par C4 (vue antéro-postérieure). *A* représente les intravertébraux qui sont réunis aux plexus de la veine ement visible à droite. (D'après M. H. LUDINGHAUSEN, 1964.)

VEINES OU PLEXUS DE CONJUGAISON

veineux médullaire et rachidien, des canaux collecteurs, re et en volume, se dirigent de chaque côté transversale- conjugaison : ce sont les veines ou plexus de conjugaison. ntra-rachidiennes aux veines extra-rachidiennes. 885), il existerait quatre veines : deux supérieures et ant les angles du canal de conjugaison. Mais ces veines nes; elles s'envoient des anastomoses transversales égale- régulières. Il en résulte donc que les racines, puis les nerfs au niveau des trous ou canaux de conjugaison au centre veineux.

achidiens sont entourés par une gaine dure-mérienne qui rou de conjugaison; autour de cette gaine sont les plexus

H. H. M. Woollam et J. W. Millen (1958), J. Welch et montré l'existence de bourgeons, et même de vraies villo- ui plongent dans la lumière des veines et peuvent présenter spinale du liquide céphalo-rachidien, analogues à celles acchioni intra-crâniennes (fig. 92).

jugaison aboutissent dans la région cervicale aux veines jugulaires postérieures et aux troncs veineux brachio- , à la veine cave supérieure. Dans les régions thoracique s vont se terminer par l'intermédiaire des veines inter-

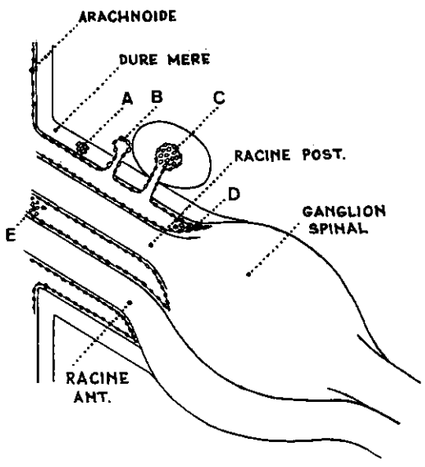


FIG. 92.

Représentation schématique des relations existant entre les méninges et les vaisseaux au niveau des racines rachidiennes.

A, bourgeons de cellules arachnoïdiennes dans la dure-mère; *B*, traversée complète de la dure-mère par les méninges molles; *C*, protrusion du tissu arachnoïdien dans une veine; *D* et *E*, proliférations arachnoïdiennes.

(D'après J. WELCH et J. POLLAY, 1963.)

costales et lombaires dans les veines azygos et dans la veine cave inférieure. Dans la région sacrée, elles sortent par les trous sacrés et se jettent dans les veines moyennes et latérales et dans les veines iliaques internes.

En somme, plexus intra-rachidiens et plexus extra-rachidiens communiquent au niveau de chaque vertèbre par trois voies : 1° en avant, à travers les corps vertébraux; 2° latéralement, par les trous de conjugaison; 3° en arrière, à travers les lames et les ligaments jaunes.

F. — LES PLEXUS VEINEUX EXTRA-RACHIDIENS

Les plexus veineux extra-rachidiens comprennent deux parties : l'une est située sur la face antérieure des corps vertébraux, l'autre sur la face postérieure des lames vertébrales.

Les plexus veineux extra-rachidiens antérieurs sont faits de veines de petit calibre situées sur la face antérieure des corps vertébraux. Ils reçoivent des veines des corps vertébraux. Ils se drainent dans la région cervicale vers les veines vertébrales et dans les régions thoracique et lombaire vers les veines azygos.

Les plexus veineux extra-rachidiens postérieurs reposent dans la profondeur entre les apophyses épineuses et transverses. Ils sont bilatéraux, réunis par des anastomoses transversales qui cheminent entre les apophyses épineuses; ils reçoivent des veines du squelette et des plexus intravertébraux.

Dans la région cervicale, ils sont particulièrement importants et se drainent dans les plexus des veines vertébrales et dans les veines cervicale profonde et jugulaire postérieure.

Dans les régions thoracique et lombaire, ils ont une voie de drainage com-

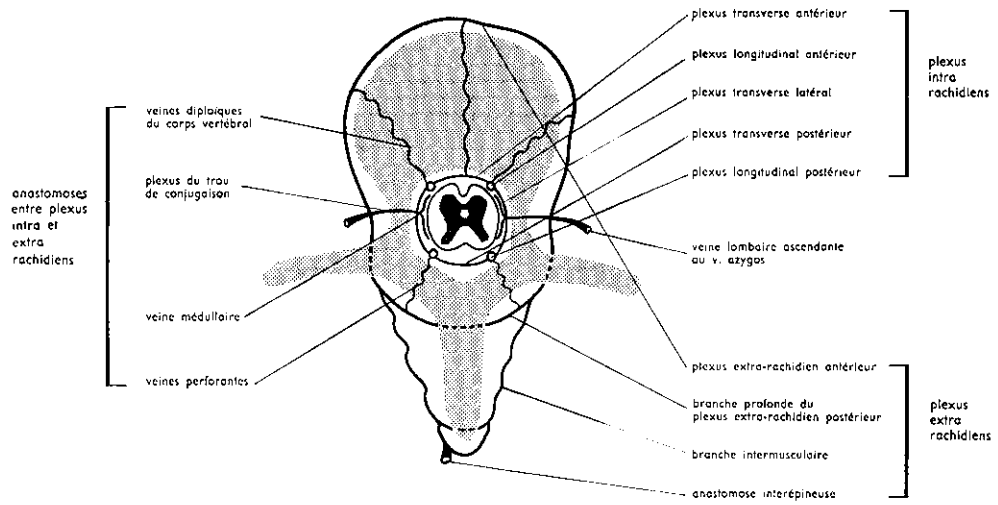


FIG. 93. — *Plexus intrarachidiens et extra-rachidiens; anastomoses.* (D'après R. DJINDJIAN, A. PANSINI et P. DORLAND.)

mune avec les veines musculaires vers les branches postérieures des veines segmentaires intercostales et lombaires.

A partir des veines intercostales, le sang veineux va à droite dans la grande veine azygos, à gauche de la 3e à la 8e vertèbre thoracique, dans l'hémiazygos supérieure et pour les segments inférieurs dans l'hémiazygos inférieure.

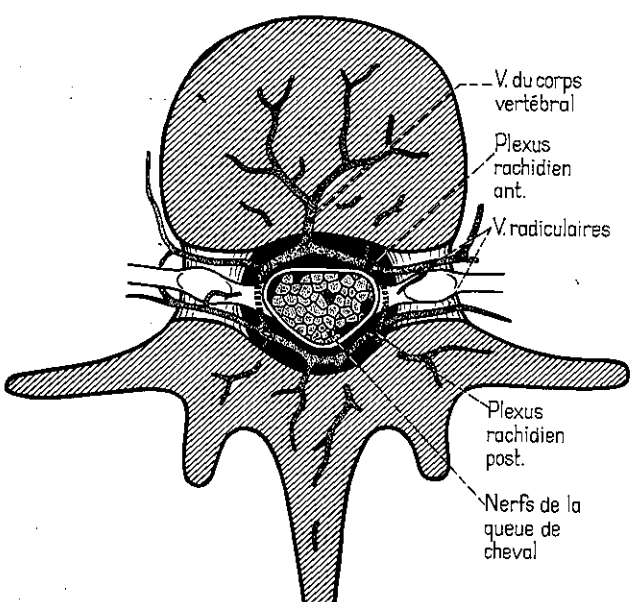
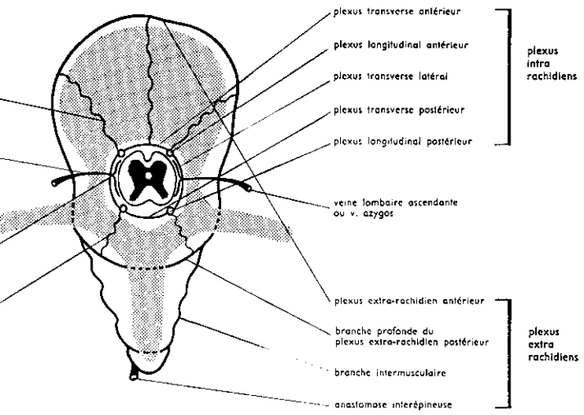


FIG. 94. — *Les veines et plexus intra-rachidiens.*

A partir des veines lombaires, au niveau de chaque segment et des deux côtés, les veines lombaires ascendantes sont atteintes. Ces veines montent vers les veines azygos, mais sont aussi réunies à la veine cave inférieure par 3 à 4 paires de veines transversales. Les première et deuxième veines lombaires peuvent aller directement dans les veines azygos.

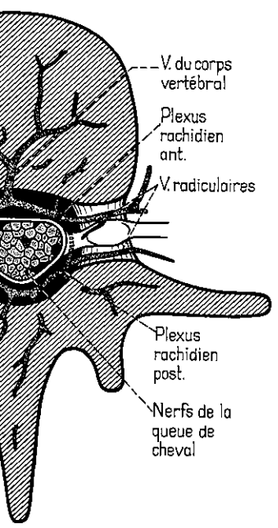
Au niveau du sacrum, le sang veineux est pris par les veines sacrées et par les veines hypogastriques vers la veine cave inférieure.

Le calibre des différentes veines et plexus a été étudié sur des veinographies faites sur le vivant et sur le cadavre par H. J. Clemens (1961) et par H. Vogelsang (1970) (tableau VI).



lexus intrarachidiens et extra-rachidiens; anastomoses.
près R. Djindjian, A. Pansini et P. Dorland.)

musculaires vers les branches postérieures des veines
les et lombaires.
intercostales, le sang veineux va à droite dans la grande veine azygos, à gauche de la 3e à la 8e vertèbre thoracique, dans l'hémiazygos supérieure et pour les segments inférieurs dans l'hémiazygos inférieure.



et plexus intra-rachidiens.

A partir des veines lombaires, au niveau de chaque segment et des deux côtés, les veines lombaires ascendantes sont atteintes. Ces veines montent vers les veines azygos, mais sont aussi réunies à la veine cave inférieure par 3 à 4 paires de veines transversales. Les première et deuxième veines lombaires peuvent aller directement dans les veines azygos.

Au niveau du sacrum, le sang veineux est pris par les veines sacrées et par les veines hypogastriques vers la veine cave inférieure.

rentes veines et plexus a été étudié sur des veinographies
r le cadavre par H. J. Clemens (1961) et par H. Vogelsang

TABLEAU VI. — Calibre des veines sur le vivant par veinographie intra-osseuse et sur le cadavre (*in* H. Vogelsang, 1970).

	Sur le vivant (H. Vogelsang)	Sur le cadavre (H. J. Clemens)
Plexus veineux intra-rachidien :		
Plexus longitudinal thoracique	2,0	2,0-3,0
Plexus longitudinal lombaire	3,5-5,0	3,5-5,0
Plexus transverse	3,5-5,0	3,5-5,0
Veines basivertébrales	1,0-2,5	1,0-3,5
Veines intervertébrales	± 1,0	1,0-2,0
Plexus veineux extra-rachidien :		
Plexus postérieur	2,0-4,0	2,0-4,0
Plexus latéral	1,0	0,2-1,0
Veines cervicales profondes	3,0-4,5	3,8-4,0
Veines lombaires	4,0-5,5	2,5-3,0
Veines intercostales	3,5-5,0	2,0-3,5
Veine lombaire ascendante	4,0-5,5	2,5-5,0

Les variations existent surtout au niveau des gros troncs veineux. Ils paraissent mieux remplis chez le sujet vivant. Ce fait est d'ailleurs général pour le système veineux et rend l'interprétation des veinographies par voie osseuse difficile.

CONCLUSIONS

La distribution de la vascularisation veineuse de la moelle épinière est plus simple et plus primitive que celle de la vascularisation artérielle.

Dans les voies intra-médullaires, on constate que le drainage veineux des deux hémimoelles est commun. Le territoire intra-médullaire des systèmes veineux postérieur et périphérique est plus important que celui des systèmes artériels correspondants. Des anastomoses importantes unissent les veines intra-médullaires et les veines extra-médullaires. Le système des veines radiées intra-médullaires et le réseau veineux périmédullaire largement anastomosés assurent un bon drainage de toutes les parties de la moelle.

Les voies longitudinales antérieures et postérieures et leurs anastomoses forment un réseau périmédullaire. A partir de ce réseau, partent des veines radiculaires qui sont plus nombreuses et moins soumises à variations régionales que les artères radiculaires.

Il y a donc, au niveau du système veineux, une désegmentation moindre qu'au niveau du système artériel. Dans toutes les espèces, le système veineux postérieur : voies longitudinale et veine radiculaire, est plus important en nombre et calibre que le système veineux antérieur. A partir de la portion extra-durale des veines radiculaires, apparaissent des valvules qui établissent une séparation entre le système veineux médullaire et le système veineux rachidien.

DEUXIÈME PARTIE

CIRCULATION DE LA MOELLE ÉPINIÈRE

Pour la moelle épinière comme pour le cerveau, la connaissance de l'anatomie vasculaire est indispensable à la compréhension de la circulation normale et de ses dérèglements.

Dans la première partie de cet ouvrage, nous avons constaté que des progrès considérables avaient été réalisés sur ce sujet durant les dernières années.

Mais pour comprendre la circulation normale et pathologique d'un organe, il faut non seulement connaître le dispositif de distribution vasculaire, mais aussi connaître ses mécanismes régulateurs. Or, si notre savoir sur les facteurs de régulation de la physiologie et de la physiopathologie de la circulation cérébrale a beaucoup progressé dans les dernières décennies grâce à la mise au point d'excellentes techniques d'exploration du débit sanguin, il n'en est pas de même pour la circulation de la moelle épinière sur laquelle peu de travaux physiologiques ont été réalisés.

Dans cette deuxième partie, consacrée à la pathologie vasculaire de la moelle épinière, les malformations vasculaires exceptées, nous rappellerons d'abord certaines données fondamentales se rapportant à la circulation normale de la moelle épinière; nous étudierons la physiopathologie de l'insuffisance circulatoire médullaire; nous exposerons ensuite les aspects anatomocliniques et l'étiopathogénie des myélopathies vasculaires; nous chercherons enfin à dire quel est le rôle joué par le facteur vasculaire dans diverses entités de la pathologie de la moelle épinière et du rachis.

CHAPITRE VII

LA CIRCULATION NORMALE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE

Une anatomie finaliste peut aisément admettre qu'à la complexité, à la fragilité du névraxe (cerveau, tronc cérébral et moelle épinière), à la sensibilité à l'ischémie et à l'anoxie du neurone, correspondent heureusement une vascularisation et une circulation toutes particulières qui n'ont aucune analogie avec celles des autres viscères. Le névraxe est, en effet, pourvu au niveau de sa vascularisation artérielle de systèmes de sécurité capables de devenir voies de suppléance, et ces systèmes sont sans comparaison avec ceux rencontrés en tout autre point de l'organisme. Le névraxe a un réseau capillaire de structure particulière puisqu'il constitue une barrière entre le sang circulant et les tissus (v. p. 107). Le névraxe a des voies de drainage veineux dont la singularité tient à leur multiplicité et à leur situation dans une cavité dont les parois sont osseuses. Le névraxe enfin est pourvu d'une circulation « protégée » par un ensemble de mécanismes autorégulateurs... tout au moins à notre connaissance pour ce qui est du cerveau..., en est-il pour la moelle épinière comme pour le cerveau ?

A. — LES CIRCULATIONS ARTÉRIELLE ET VEINEUSE

I. — LA CIRCULATION ARTÉRIELLE ET SES VOIES DE SUPPLÉANCE

Au niveau de la moelle épinière, comme de tout le névraxe, existent des systèmes anastomotiques de sécurité étagés sur quatre niveaux (G. Lazorthes et A. Gouazé, 1968). Ils interviennent dans les cas d'insuffisance circulatoire physiologique ou pathologique.

Un premier système, extra-crânien et extra-rachidien, unit les voies d'apport. Les trois autres systèmes, au contraire, intra-crâniens et intra-rachidiens, peuvent être appelés respectivement basilaire, péri-axial et intra-axial, dénominations qui correspondent à leur situation.

Les systèmes basilaire et péri-axial sont indépendants au niveau du cerveau; ils sont au contraire intimement liés au niveau de la moelle.

Nous envisagerons donc : 1° La circulation dans les voies d'apport à la moelle épinière; 2° La circulation dans le plan périmédullaire; 3° La circulation intramédullaire.

Quelques remarques sur les anastomoses artérielles méritent auparavant d'être faites :

Le calibre d'une artère est proportionnel à sa fonction. Si sa fonction devient plus importante, son calibre s'accroît; si elle devient moins importante, son calibre diminue.

La preuve en est fournie abondamment : les variations considérables du calibre de l'artère utérine dans les diverses phases de la vie génitale de la femme avec la grossesse; l'augmentation de calibre d'une branche artérielle cérébrale appelée à nourrir un gliome cérébral ou celle d'une branche artérielle méningée appelée à irriguer un méningiome, ou encore celle des artères cérébrales ou médullaires devenues les pédicules artériels d'un anévrysme artério-veineux; la réduction du calibre de ces artères après la cure chirurgicale de la tumeur ou de l'angiome...

Les anastomoses artérielles ne font pas exception à la règle. Les preuves en sont nombreuses :

— Une thrombose de l'artère carotide interne par exemple est cliniquement beaucoup moins grave lorsqu'elle s'installe lentement parce qu'elle permet aux systèmes anastomotiques de suppléance de se développer.

— Les séances de compression prolongée de l'axe carotidien avant sa ligature dans le but de développer les anastomoses de suppléance, de même que le serrage progressif de la ligature de l'artère carotide au cou pratiqué jadis dans certaines malformations vasculaires toujours dans le même but, sont des manœuvres bien connues.

— Les accidents vasculaires cérébraux ischémiques font apparaître, au niveau de certains segments du polygone, des calibres qui ne laissent aucun doute sur les possibilités d'adaptation de ces segments à la nouvelle fonction qui leur échoit.

— L'augmentation du calibre de certains segments est mise en évidence lors des artériographies pratiquées après thrombose et, bien sûr, sur les polygones de Willis examinés lors des autopsies pratiquées un certain temps après l'installation de la thrombose.

— Expérimentalement, enfin, nous avons pu modeler le polygone de Willis du lapin et du singe par ligature au cou d'une ou plusieurs voies artérielles d'apport et ces résultats nous paraissent un argument majeur (G. Lazorthes, A. Gouazé et coll., 1971).

En somme, nous pensons qu'une anastomose artérielle possède, comme toute artère, une physiologie dans la vie normale de l'individu. Certes, elle ne fonctionne pas en permanence, mais seulement à certains moments de la vie physiologique pour suppléer une artère momentanément déficiente, et c'est dans cet esprit que l'on pourrait dire peut-être qu'elle est potentielle. Une anastomose, comme toute artère, est actuelle; elle n'est pas là pour attendre l'accident vasculaire, la thrombose de « son artère ».

1° La circulation dans les voies artérielles d'apport.

Les voies artérielles d'apport au cerveau et au tronc cérébral sont concentrées dans quatre gros troncs : les deux artères carotides internes et les deux artères vertébrales. Des anastomoses plus anatomiques que fonctionnelles issues de la carotide externe ou de la sous-clavière peuvent leur fournir des suppléances :

sur les anastomoses artérielles méritent auparavant d'être

tère est proportionnel à sa fonction. Si sa fonction devient
calibre s'accroît; si elle devient moins importante, son

fournie abondamment : les variations considérables du
ne dans les diverses phases de la vie génitale de la femme

gmentation de calibre d'une branche artérielle cérébrale
liome cérébral ou celle d'une branche artérielle méningée
méningiome, ou encore celle des artères cérébrales ou
es pédicules artériels d'un anévrysme artério-veineux; la
ces artères après la cure chirurgicale de la tumeur ou de

rtérielles ne font pas exception à la règle. Les preuves en

de l'artère carotide interne par exemple est cliniquement
lorsqu'elle s'installe lentement parce qu'elle permet aux
es de suppléance de se développer.
compression prolongée de l'axe carotidien avant sa liga-
velopper les anastomoses de suppléance, de même que le
ligature de l'artère carotide au cou pratiqué jadis dans
ns vasculaires toujours dans le même but, sont des
es.
sculaires cérébraux ischémiques font apparaître, au niveau
polygone, des calibres qui ne laissent aucun doute sur les
de ces segments à la nouvelle fonction qui leur échoit.
du calibre de certains segments est mise en évidence lors
tiquées après thrombose et, bien sûr, sur les polygones
des autopsies pratiquées un certain temps après l'instal-
.
nent, enfin, nous avons pu modeler le polygone de Willis
par ligature au cou d'une ou plusieurs voies artérielles
ts nous paraissent un argument majeur (G. Lazorthes,
.
ensons qu'une anastomose artérielle possède, comme toute
dans la vie normale de l'individu. Certes, elle ne fonc-
nce, mais seulement à certains moments de la vie physio-
une artère momentanément déficiente, et c'est dans cet
t dire peut-être qu'elle est potentielle. Une anastomose,
actuelle; elle n'est pas là pour attendre l'accident vascu-
son artère ».

culation dans les voies artérielles d'apport.

s d'apport au cerveau et au tronc cérébral sont concentrées
s : les deux artères carotides internes et les deux artères
moses plus anatomiques que fonctionnelles issues de la
la sous-clavière peuvent leur fournir des suppléances :

1° Anastomoses antérieures représentées par l'union des ramifications de l'artère ophtalmique, branche de l'artère carotide interne, avec celles des artères faciale et maxillaire interne, branches de l'artère carotide externe. 2° Anastomoses postérieures représentées par l'union des branches de l'artère vertébrale avec celles des collatérales ascendantes de l'artère sous-clavière (artères cervicale ascendante et cervicale profonde) et celles de l'artère occipitale, collatérale de l'artère carotide externe.

Les voies artérielles d'apport de la moelle épinière sont plus nombreuses et plus étalées que celles de l'encéphale (voir première partie), et leurs suppléances sont moins bien connues que celles du cerveau et du tronc cérébral.

La division de la moelle épinière en trois parties distinctes par leur inégale vascularisation, que nous avons proposée en 1957 et qui a été adoptée par tous les auteurs, doit être conservée pour l'étude de la circulation. Chacune de ces trois parties, chacun de ces trois territoires vasculaires représente non seulement une unité anatomique, mais aussi une unité fonctionnelle; cette division a un intérêt morphologique et plus encore physiologique.

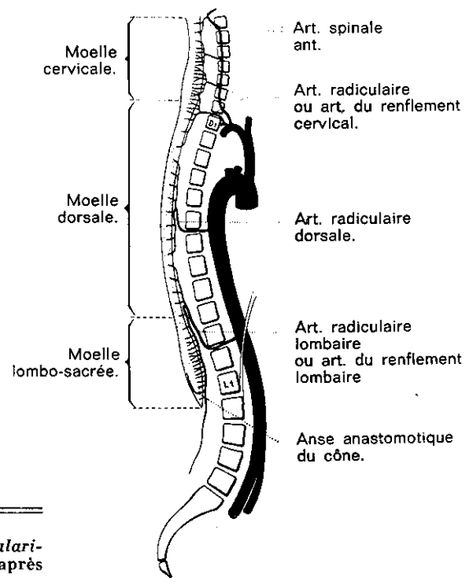


FIG. 95. — *Les trois territoires de la vascularisation artérielle de la moelle épinière.* (D'après G. LAZORTHES, 1957.)

Le territoire supérieur ou cervico-thoracique.

*1° **La moelle cervicale supérieure.*** — Les quatre premiers segments cervicaux (C1 à C4) représentent une zone de passage. Ils sont irrigués par l'artère spinale antérieure sans apport radiculaire. L'artère spinale antérieure naît de la convergence de deux affluents venus des artères vertébrales. Le « confluent anastomotique sous-occipital », formé par l'anastomose des artères vertébrale, occipitale, cervicales ascendante et profonde (G. Lazorthes et A. Gouazé, 1968) (v. p. 58), paraît capable de prendre en charge le segment terminal de l'artère vertébrale, protégeant ainsi la circulation du tronc cérébral et du cerveau, mais aussi celle de la moelle cervicale supérieure qui en dépend.

C'est d'abord **la pathologie artérielle ischémique** qui nous l'a appris.

— Dans le cas de thrombose unilatérale de l'artère vertébrale, si l'autre artère est elle-même de calibre réduit, on constate que la suppléance peut venir des collatérales des artères sous-clavière et carotide externe. J. Lenz et M. Winkel-

bauer, cités par J. K. Zulch (1955), rapportent l'observation d'un malade qui, après ligature de l'artère carotide externe, pour cancer de la langue, présenta des troubles neurologiques bulbo-médullaires majeurs; il est vraisemblable que, chez ce malade, l'artère carotide externe avait par l'artère occipitale pris le relais d'une artère vertébrale thrombosée. Dans les thromboses vertébrales, le segment distal de cette artère peut être réhabité à partir des artères occipitales, cervicales profonde et ascendante (observations de G. Boudin et coll., 1966; de P. Janny et coll., 1964; de A. M. Favarel-Benazet, 1964; de J. Bonnal et coll., 1964 et de M. Salles, 1962). Dans une de nos observations, l'artériographie découvrit que l'artère cervicale ascendante injectait la portion moyenne et supérieure de l'artère vertébrale thrombosée et que l'artère occipitale induisait au-dessus un courant ascendant dans l'artère vertébrale et le tronc basilaire (G. Lazorthes et A. Gouazé, 1968).

— En cas de thrombose unilatérale de l'artère vertébrale, on sait que l'autre artère vertébrale peut suppléer à la vascularisation du tronc cérébral. Mais C. M. Fischer et coll. (1961) ont montré que la nécrose latérale du bulbe ne survient parfois qu'après thrombose de la deuxième artère vertébrale et que le ramollissement siège alors le plus souvent du côté de l'oblitération récente, ce qui paraît démontrer que le territoire latéral du bulbe correspondant à la thrombose vertébrale ancienne avait été pris en charge par les suppléances issues du carrefour anastomotique sous-occipital homolatéral.

La physiologie artérielle normale vient confirmer le rôle du carrefour sous-occipital dans la suppléance de la terminaison de l'artère vertébrale.

Chaque artère, chaque segment artériel anastomotique a le calibre de sa fonction maximum, comme nous l'avons dit plus haut. Nous avons aussi montré (G. Lazorthes, A. Gouazé et coll., 1971) que dans les mouvements de la colonne cervicale et de l'extrémité céphalique et plus particulièrement dans les rotations, les voies artérielles d'apport, artères carotide et vertébrale, peuvent être comprimées au niveau du cou. Une rotation appuyée par exemple est susceptible de comprimer :

— L'axe carotidien homolatéral à deux niveaux : l'un inférieur au-dessous de la bifurcation (axe aéro-digestif et plus particulièrement bord postérieur et corne du cartilage thyroïde), l'autre supérieur au-dessus de la bifurcation (ventre postérieur du muscle digastrique).

— L'axe vertébral controlatéral à sa partie supérieure, au niveau du trou transversaire de l'axis, le rebord postérieur de cet orifice formant chevalet.

Ces compressions physiologiques des voies artérielles d'apport modèlent le calibre des systèmes anastomotiques...

C'est probablement le « confluent artériel anastomotique sous-occipital » qui, par l'artère occipitale et les artères cervicales ascendante et profonde, constitue le système de sécurité de l'artère vertébrale lors des mouvements de la colonne cervicale et de l'extrémité céphalique en ce qui concerne la circulation du bulbe et de la moelle cervicale supérieure.

2° ***Le renflement cervical.*** — Les quatre derniers segments cervicaux et les deux premiers segments thoraciques (C5 à D2) constituent l'unité fonctionnelle du membre supérieur et possèdent une vascularisation autonome. Ils sont, en effet, vascularisés par deux à quatre artères radiculo-médullaires volumineuses, en

Zulch (1955), rapportent l'observation d'un malade qui, ère carotide externe, pour cancer de la langue, présenta ues bulbo-médullaires majeurs; il est vraisemblable que, carotide externe avait par l'artère occipitale pris le relais thrombosée. Dans les thromboses vertébrales, le segment ut être réhabité à partir des artères occipitales, cervicales (observations de G. Boudin et coll., 1966; de P. Janny Favarel-Benazet, 1964; de J. Bonnal et coll., 1964 et de une de nos observations, l'artériographie découvrit que ante injectait la portion moyenne et supérieure de l'artère et que l'artère occipitale induisait au-dessus un courant vertébrale et le tronc basilaire (G. Lazorthes et A. Gouazé,

bose unilatérale de l'artère vertébrale, on sait que l'autre suppléer à la vascularisation du tronc cérébral. Mais (1961) ont montré que la nécrose latérale du bulbe ne ès thrombose de la deuxième artère vertébrale et que le ors le plus souvent du côté de l'oblitération récente, ce ne le territoire latéral du bulbe correspondant à la throm- e avait été pris en charge par les suppléances issues du e sous-occipital homolatéral.

elle normale vient confirmer le rôle du carrefour sous- éance de la terminaison de l'artère vertébrale.
que segment artériel anastomotique a le calibre de sa me nous l'avons dit plus haut. Nous avons aussi montré é et coll., 1971) que dans les mouvements de la colonne té céphalique et plus particulièrement dans les rotations, pport, artères carotide et vertébrale, peuvent être com- ou. Une rotation appuyée par exemple est susceptible de

homolatéral à deux niveaux : l'un inférieur au-dessous de digestif et plus particulièrement bord postérieur et corne l'autre supérieur au-dessus de la bifurcation (ventre ligastrique).
controlatéral à sa partie supérieure, au niveau du trou e rebord postérieur de cet orifice formant chevalet.
physiologiques des voies artérielles d'apport modèlent le stomotiques...
le « confluent artériel anastomotique sous-occipital » qui, t les artères cervicales ascendante et profonde, constitue de l'artère vertébrale lors des mouvements de la colonne ité céphalique en ce qui concerne la circulation du bulbe supérieure.

ervical. — Les quatre derniers segments cervicaux et les s thoraciques (C5 à D2) constituent l'unité fonctionnelle et possèdent une vascularisation autonome. Ils sont, en eux à quatre artères radiculo-médullaires volumineuses, en

provenance des artères vertébrales et des artères cervicales ascendantes et cervicales profondes. Le renflement cervical est moins différencié sur le plan fonctionnel que le renflement lombaire dont l'unité fonctionnelle est plus absolue; la même différence se retrouve sur le plan artériel (v. p. 38).

Les afférences artérielles du renflement cervical sont d'origine multiple.

R. Houdart et coll. ont rapporté, en 1965, plusieurs observations d'angiomes médullaires cervicaux dont les afférences multiples et bilatérales provenaient non seulement de l'artère vertébrale, mais aussi du tronc cervico-intercostal et des

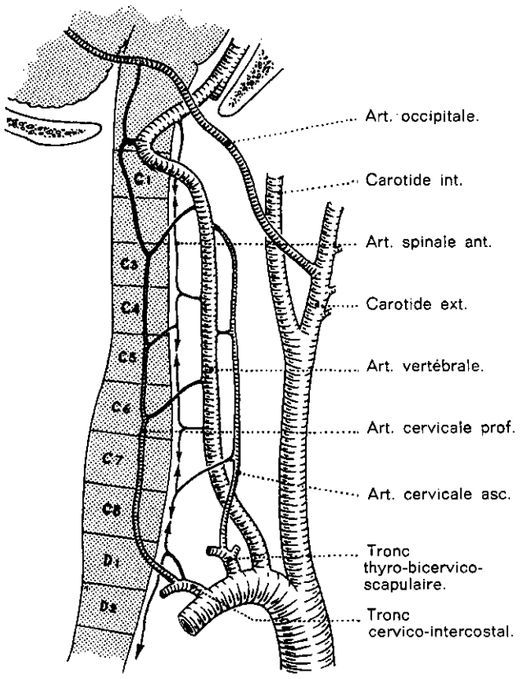


FIG. 96. — *Vascularisation artérielle de la moelle cervicale.* (Schéma de G. LAZORTHES et A. GOUAZÉ, 1966.)

artères cervicales profonde et ascendante, ce qui montre bien que toutes ces artères participent à la vascularisation artérielle de la moelle cervicale.

Nous avons étudié la part des différentes artères du cou dans la vascularisation de la moelle cervicale par l'injection de baryx colloïdal dans chacune d'entre elles (G. Lazorthes et A. Gouazé, 1966). Nous avons constaté qu'à la vascularisation de la moelle cervico-thoracique participent non seulement les artères vertébrales et le tronc cervico-intercostal, mais aussi l'artère occipitale, branche de la carotide externe et les artères cervicale profonde et cervicale ascendante, branches de l'artère sous-clavière (v. p. 58).

Mais on ne peut reconnaitre la valeur fonctionnelle des suppléances anato-

miques que par des constatations faites *in vivo,* c'est-à-dire par l'expérimentation sur l'animal ou grâce à des observations cliniques privilégiées.

Nous avons, chez le singe, le chien, le chat et le lapin, pu obtenir des renseignements sur les territoires fonctionnels des artères de la moelle cervicale grâce à l'injection de marqueurs fluorescents. Nos conclusions sont que les systèmes sous-clavier et carotidien externe sont capables chez ces animaux de prendre en charge la vascularisation de la moelle cervicale en cas de ligature des deux artères vertébrales. Les collatérales anastomotiques de l'artère carotide externe prennent en charge les deux tiers supérieurs de la moelle cervicale, et les artères sous-clavières assurent la vascularisation du renflement cervical. Enfin, si une artère vertébrale est liée, toute la moelle cervicale est prise en charge par l'autre artère vertébrale (G. Lazorthes, A. Gouazé et coll., 1968).

Dans une étude récente, R. Labauge, C. Peguret, F. Torres et B. Grimaud (1969) étudient les réseaux cervicaux de suppléance au cours des obstructions athéromateuses de l'artère vertébrale. Ils distinguent trois catégories d'importance numérique inégale : les obstructions localisées respectant le segment distal, les obstructions étendues de l'origine à la terminaison, les obstructions mixtes vertébro-sous-clavières. Ils envisagent pour chacune de ces catégories les éléments constitutifs du réseau anastomotique, son hémodynamisme et sa valeur fonctionnelle en tenant compte de l'importance de l'obstacle, occlusion ou sténose. Ils confirment l'importance de suppléances cervicales plus efficaces dans le premier cas que dans les autres.

Le deuxième segment médullaire thoracique représente une ligne frontière située entre le territoire supérieur vascularisé par des collatérales de l'artère sous-clavière et les deux territoires intermédiaire et inférieur dont la vascularisation dépend directement de l'aorte thoraco-lombaire. Bien entendu, cette ligne de partage est soumise à grandes variations individuelles qui font qu'elle peut être élevée ou plus souvent abaissée à D3. La zone dépourvue d'afférence artérielle correspond en général aux 2e et 3e segments thoraciques.

Le territoire intermédiaire ou thoracique moyen.

Ce territoire correspond environ aux 3e, 4e, 5e, 6e, 7e et 8e segments thoraciques; sa vascularisation est fournie le plus souvent par une seule artère qui arrive soit avec la 5e racine thoracique, soit avec la 6e racine thoracique.

Il y a peu de suppléances possibles à cet étage qui est particulièrement fragile et siège électif des lésions ischémiques (v. p. 159).

Il faut pourtant retenir que, lorsque l'on injecte une quelconque des artères dorso-spinales à son émergence aortique après avoir lié l'artère intercostale proprement dite, on constate que la masse d'injection se retrouve très vite du côté opposé ainsi qu'aux étages sus- et sous-jacents. Les artères dorso-spinales, comme nous l'avons dit, sont unies par leurs différentes collatérales dans les plans vertébral, intra-rachidien et rétro-vertébral (v. p. 61).

La valeur fonctionnelle, dans la vascularisation de la moelle, de ces systèmes de suppléance segmentaires paraît faible, bien qu'ils soient parfois mis en évidence par les angiographies aortiques sélectives.

Nous avons essayé de l'apprécier par l'expérience suivante : après ligature

statations faites *in vivo*, c'est-à-dire par l'expérimentation
des observations cliniques privilégiées.
e singe, le chien, le chat et le lapin, pu obtenir des rensei-
oires fonctionnels des artères de la moelle cervicale grâce
eurs fluorescents. Nos conclusions sont que les systèmes
n externe sont capables chez ces animaux de prendre en
n de la moelle cervicale en cas de ligature des deux artères
ales anastomotiques de l'artère carotide externe prennent
s supérieurs de la moelle cervicale, et les artères sous-
scularisation du renflement cervical. Enfin, si une artère
la moelle cervicale est prise en charge par l'autre artère
, A. Gouazé et coll., 1968).
cente, R. Labauge, C. Peguret, F. Torres et B. Grimaud
eaux cervicaux de suppléance au cours des obstructions
re vertébrale. Ils distinguent trois catégories d'importance
obstructions localisées respectant le segment distal, les
de l'origine à la terminaison, les obstructions mixtes
Ils envisagent pour chacune de ces catégories les éléments
nastomotique, son hémodynamisme et sa valeur fonction-
de l'importance de l'obstacle, occlusion ou sténose. Ils
de suppléances cervicales plus efficaces dans le premier

ent médullaire thoracique représente une ligne frontière
e supérieur vascularisé par des collatérales de l'artère
x territoires intermédiaire et inférieur dont la vasculari-
ent de l'aorte thoraco-lombaire. Bien entendu, cette ligne
à grandes variations individuelles qui font qu'elle peut
ent abaissée à D3. La zone dépourvue d'afférence artérielle
aux 2e et 3e segments thoraciques.

rritoire intermédiaire ou thoracique moyen.

ond environ aux 3e, 4e, 5e, 6e, 7e et 8e segments thoraciques;
urnie le plus souvent par une seule artère qui arrive soit
ique, soit avec la 6e racine thoracique.
pléances possibles à cet étage qui est particulièrement
des lésions ischémiques (v. p. 159).
tenir que, lorsque l'on injecte une quelconque des artères
émergence aortique après avoir lié l'artère intercostale
nstate que la masse d'injection se retrouve très vite du
x étages sus- et sous-jacents. Les artères dorso-spinales,
sont unies par leurs différentes collatérales dans les plans
en et rétro-vertébral (v. p. 61).
nelle, dans la vascularisation de la moelle, de ces systèmes
ires paraît faible, bien qu'ils soient parfois mis en évidence
rtiques sélectives.
de l'apprécier par l'expérience suivante : après ligature

de l'aorte thoracique au-dessous de la naissance de l'artère sous-clavière d'où vient l'artère cervico-intercostale (qui donne la dernière artère radiculo-médullaire vascularisant le territoire supérieur ou cervico-thoracique) et au-dessus de l'artère intercostale ou lombaire d'où naît l'artère du renflement lombaire (qui vascularise le territoire inférieur), une injection du segment aortique ainsi isolé permet de constater le faible apport de l'aorte à la moelle thoracique moyenne, le peu de suppléance possible et la précarité de la vascularisation de la moelle du territoire intermédiaire.

Ce territoire intermédiaire ou thoracique moyen est une simple zone de passage entre les deux renflements qui constituent les unités fonctionnelles vraies de la moelle. Sa vascularisation artérielle n'est pas forte, comme n'est pas marqué son caractère fonctionnel. Comme pour la moelle cervicale supérieure, autre zone de passage, la vascularisation artérielle n'est pas autonome, mais dépendante par l'intermédiaire de la voie spinale antérieure de celle des deux territoires voisins, les renflements, zones à vascularisation artérielle forte. Elle se fait donc par un courant descendant et un courant ascendant.

Ce territoire reçoit en général une artère radiculo-médullaire antérieure grêle vers D5-D7; cette artère est située à un niveau d'autant plus élevé que l'artère du renflement lombaire naît elle-même à un niveau élevé et inversement. D'après K. Jellinger (1966), elle peut même être absente.

L'anatomie comparée nous a d'ailleurs appris (v. p. 38) que la valeur des apports radiculaires antérieurs du territoire est inversement proportionnelle de celle des apports radiculaires antérieurs cervicaux et lombaires sus- et sous-jacents : si ces derniers sont nombreux et faibles, comme chez les animaux à moelle longue, les apports thoraciques sont forts; s'ils sont peu nombreux et donc forts comme chez les animaux à moelle courte, les apports thoraciques sont faibles.

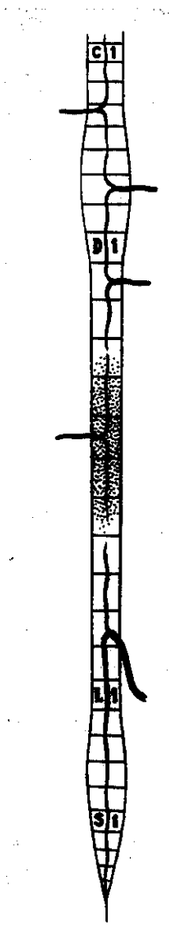


FIG. 97. — Les trois territoires artériels et la vascularisation artérielle pauvre du territoire thoracique moyen.

A notre avis, s'il n'existe pour ainsi dire pas au niveau du territoire thoracique moyen de systèmes anastomotiques de suppléances valables, c'est tout simplement que ce territoire n'a pas de vascularisation propre. Il ne peut y avoir de système de suppléances des voies artérielles d'apport puisque ces voies n'existent pas et l'on peut admettre que les systèmes artériels anastomotiques de suppléances des renflements sont aussi ceux de la moelle thoracique moyenne.

Les lésions ischémiques médullaires de ces territoires sont graves parce qu'elles sont toujours en rapport avec une interruption de la voie spinale antérieure et pratiquement jamais avec une interruption des voies artérielles d'apport

radiculo-médullaires, puisqu'il n'y en a donc pratiquement pas à ce niveau. Or, chacun sait qu'une thrombose est d'autant plus grave qu'elle siège près du névraxe.

Le territoire inférieur ou thoraco-lombo-sacré.

Au niveau des segments médullaires thoraciques inférieurs, lombaires et sacrés, la riche vascularisation dépend le plus souvent essentiellement d'une artère : l'artère grande radiculaire antérieure d'A. Adamkiewicz ou artère du renflement lombaire de G. Lazorthes. Elle est le plus souvent l'unique apport artériel de ce territoire qui représente environ le tiers inférieur de la moelle; lorsqu'elle naît très haut et arrive avec les 7e, 8e, 9e et 10e racines thoraciques, une deuxième artère radiculo-médullaire antérieure peut naître plus bas (v. p. 51). Les artères radiculo-médullaires postérieures sont plus nombreuses (v. p. 55).

Le territoire inférieur ou thoraco-lombo-sacré constitue l'unité fonctionnelle du membre inférieur au niveau de laquelle la différenciation fonctionnelle est, nous le savons, poussée à l'extrême vers une unité absolue. Cette unité se retrouve dans la vascularisation artérielle. Ce territoire possède, il va sans dire, une vascularisation autonome forte; l'artère du renflement lombaire est volumineuse.

Les systèmes artériels de sécurité de ces territoires nous paraissent efficaces. Ils sont constitués essentiellement par les « apports radiculaires inférieurs » que nous avons décrits en 1967 (G. Lazorthes, A. Gouazé et coll.). Nous avons vu qu'il existait sur chaque racine de la queue de cheval au-dessous de l'artère du renflement lombaire une ou plusieurs artères, grêles certes, mais réelles, artères qui aboutissent à la voie spinale antérieure pour les antérieures et aux voies spinales postérieures pour les postérieures. Nous avons montré chez l'animal (singe et chien), à l'aide de la méthode d'injection *in vivo* de marqueurs fluorescents neurotropes (G. Lazorthes, A. Gouazé et coll., 1967), que ces apports radiculaires sont susceptibles de potentialisation en cas de déficience de l'apport principal et qu'ils peuvent prendre en charge le renflement lombaire (v. p. 64).

Rappelons que J. Guillaume et coll. (1955), St. de Sèze (1957) ont attribué à l'artère radiculaire L5 ou S1 un territoire médullaire; la compression de cette artère aurait une responsabilité dans les troubles moteurs parfois associés à la sciatalgie d'origine discale. Dès 1957, nous avons pris position contre cette hypothèse (G. Lazorthes et coll.). Nous appuyant maintenant sur l'expérimentation animale, nous apportons la preuve que toutes les artères qui accompagnent les racines de la queue de cheval et qui se situent au-dessous de l'artère du renflement lombaire sont purement radiculaires, mais sont susceptibles de suppléer partiellement à la vascularisation du renflement lombaire.

Chez l'homme, si l'on injecte une solution de baryx colloïdal dans l'aorte abdominale, au-dessous de l'origine de l'artère lombaire qui donne l'artère du renflement lombaire, on retrouve le produit de contraste au niveau du renflement lombaire : il y parvient sans aucun doute par les artères qui accompagnent les racines de la queue de cheval, issues des artères lombaires, ilio-lombaires, sacrées moyenne et latérale, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'anse anastomotique du cône de G. Lazorthes (v. p. 52).

uisqu'il n'y en a donc pratiquement pas à ce niveau. Or, rombose est d'autant plus grave qu'elle siège près du

territoire inférieur ou thoraco-lombo-sacré.

gments médullaires thoraciques inférieurs, lombaires et arisation dépend le plus souvent essentiellement d'une radiculaire antérieure d'A. Adamkiewicz ou artère du ren- Lazorthes. Elle est le plus souvent l'unique apport artériel résente environ le tiers inférieur de la moelle; lorsqu'elle avec les 7e, 8e, 9e et 10e racines thoraciques, une deuxième ire antérieure peut naître plus bas (v. p. 51). Les artères ostérieures sont plus nombreuses (v. p. 55).
eur ou thoraco-lombo-sacré constitue l'unité fonctionnelle au niveau de laquelle la différenciation fonctionnelle oussée à l'extrême vers une unité absolue. Cette unité scularisation artérielle. Ce territoire possède, il va sans on autonome forte; l'artère du renflement lombaire est

els de sécurité de ces territoires nous paraissent efficaces. tiellement par les « apports radiculaires inférieurs » que 967 (G. Lazorthes, A. Gouazé et coll.). Nous avons vu qu'il ine de la queue de cheval au-dessous de l'artère du ren- plusieurs artères, grêles certes, mais réelles, artères qui spinale antérieure pour les antérieures et aux voies our les postérieures. Nous avons montré chez l'animal de la méthode d'injection *in vivo* de marqueurs fluores- Lazorthes, A. Gouazé et coll., 1967), que ces apports eptibles de potentialisation en cas de déficience de u'ils peuvent prendre en charge le renflement lombaire

uillaume et coll. (1955), St. de Sèze (1957) ont attribué à ou S1 un territoire médullaire; la compression de cette nsabilité dans les troubles moteurs parfois associés à la ale. Dès 1957, nous avons pris position contre cette hypo- coll.). Nous appuyant maintenant sur l'expérimentation s la preuve que toutes les artères qui accompagnent les heval et qui se situent au-dessous de l'artère du renflement t radiculaires, mais sont susceptibles de suppléer partiel- tion du renflement lombaire.
'on injecte une solution de baryx colloïdal dans l'aorte de l'origine de l'artère lombaire qui donne l'artère du retrouve le produit de contraste au niveau du renflement sans aucun doute par les artères qui accompagnent les cheval, issues des artères lombaires, ilio-lombaires, sacrées t directement, soit par l'intermédiaire de l'anse anastomo- zorthes (v. p. 52).

Faut-il distinguer des systèmes artériels spinaux antérieur et postérieur ?

La division en trois territoires d'organisation vasculaire différente que nous avons proposée est adoptée par la plupart des auteurs. Certains ne l'admettent que pour le plan artériel spinal antérieur.

F. Lhermitte et J. L. Corbin (1961) distinguent en effet deux systèmes artériels d'organisation et de régime circulatoires différents :

Le système spinal postérieur est caractérisé dans toute son étendue par l'homogénéité de sa constitution qui laisse supposer l'uniformité de son débit. Il est alimenté par une vingtaine d'artères radiculo-médullaires postérieures sensiblement de même calibre, également réparties et réunies par deux voies anastomotiques longitudinales et un réseau pie-mérien partout aussi dense. « Cette disposition anatomique laisse entrevoir que le régime circulatoire varie peu d'une région à l'autre. De ce fait, on conçoit que l'obstruction d'un vaisseau pie-mérien ou l'occlusion d'une afférence artérielle radiculaire a toutes chances d'être compensée par la circulation de suppléance que peuvent lui fournir les vaisseaux voisins ou ceux du système spinal antérieur. »

Le système spinal antérieur a pour trait dominant, au contraire, l'inégalité des afférences et la variabilité du débit circulatoire. La circulation de ce système est tributaire de quelques artères radiculaires (6-8 en moyenne) et de chacune dépend l'irrigation de plusieurs segments médullaires par l'intermédiaire du réseau pie-mérien et d'une chaîne anastomotique médiane unique, parfois interrompue. De ce réseau antérieur se détachent des vaisseaux importants qui nourrissent la presque totalité de la substance grise. L'importance de certaines des artères qui irriguent le système spinal antérieur est telle que l'occlusion de l'une d'entre elles ne permet pas le rétablissement d'une circulation suffisante. Le système spinal antérieur est, pour ces raisons, particulièrement vulnérable.

L'idée développée par F. Lhermitte et J. L. Corbin (1961) repose sur des constatations indiscutables. Pourtant, nous croyons que l'opposition des deux systèmes qu'ils présentent est trop absolue; ces deux systèmes sont d'ailleurs très largement anastomosés. La vulnérabilité du système spinal antérieur tient non à son organisation, mais plutôt à l'importance fonctionnelle de son territoire, puisqu'il correspond à la substance grise et aux neurones dont on sait la sensibilité à toute défaillance circulatoire.

Nous persistons à penser qu'en ce qui concerne la partie extra-médullaire de la circulation de la moelle épinière, la division en trois territoires est, du point de vue de l'organisation vasculaire, plus justifiée et a, du point de vue du régime circulatoire, plus d'intérêt que la division en un système spinal antérieur et un système spinal postérieur.

Cette division verticale correspond non seulement à l'aspect extérieur, mais aussi à l'organisation intérieure de la vascularisation. Elle est facilement transposée dans les plans physiologique, clinique, angiographique et thérapeutique.

2° *La circulation dans le réseau artériel périmédullaire.*

Au niveau du cerveau, on peut séparer dans le plan artériel péri-axial deux niveaux anastomotiques : d'une part, le cercle anastomotique de la base (polygone de Willis) qui représente un dispositif de sécurité théoriquement idéal, qui n'a d'équivalent en aucun autre point de l'organisme; d'autre part, le réseau cortical constitué par les trois artères cérébrales et leurs anastomoses.

Au niveau de la moelle épinière, il n'y a rien de comparable : le réseau péri-axial est constitué par une importante voie longitudinale antérieure et médiane qui prolonge sur la moelle épinière le tronc vertébro-basilaire, par d'autres voies longitudinales de moindre importance, et enfin par les anastomoses transversales qui les unissent.

La valeur du réseau périmédullaire est très discutée. A. Charpy (1921), L. Testut (1928) admettent qu'il réprésente une sorte de réservoir sanguin qui reçoit le sang des artères radiculaires et le répartit sur toute la longueur de la moelle : son homogénéité physiologique annulerait l'inégalité de la distribution segmentaire d'origine, il uniformiserait le débit dans la moelle. Cette vision est certainement trop optimiste; le réseau périmédullaire n'est pas un système anastomotique de suppléance irréprochable et il ne protège pas tout l'organe.

H. Kadyi (1889) pensait que la circulation se fait en sens différent suivant qu'il s'agit de la branche ascendante ou de la branche descendante d'une artère radiculaire antérieure et qu'à la limite de deux territoires, la pression est nulle; cette idée de l'existence d'une ligne de partage a été reprise depuis par divers auteurs.

L. Tanon (1908) a injecté l'artère spinale antérieure à différents niveaux; il a constaté que, lorsque l'injection est faite dans les artères lombaires, il est possible de remplir de bas en haut le système artériel de toute la moelle; tandis que lorsque l'injection est effectuée dans un vaisseau du tronçon cervical, le remplissage de haut en bas n'est pas obtenu.

T. H. Suh et L. Alexander (1939) ont constaté également que, si l'injection est effectuée dans les artères des premiers segments cervicaux, la substance ne va pas au-delà de la moelle cervicale; que si elle est faite dans les artères de la région lombaire, elle remonte dans les segments thoraciques inférieurs et moyens. Cette constatation suggéra aux auteurs l'hypothèse selon laquelle le courant a dans la voie artérielle antérieure une direction opposée : descendante dans la partie supérieure (cervicale) et ascendante dans la partie inférieure (lombo-sacrée et thoracique inférieure). Les artères périmédullaires de la région thoracique supérieure, point de convergence des deux courants, représenteraient une voie anastomotique très insuffisante pour permettre une liaison entre les territoires vasculaires supérieur et inférieur.

B. Bolton (1939), par injection de celloïdine et d'encre de Chine dans les artères segmentaires de l'aorte, dans les artères vertébrales et dans les artères radiculaires, arriva à la conclusion que la direction normale du courant dans l'artère spinale antérieure est cranio-caudale. A l'appui de cette hypothèse, il avance le fait que la branche supérieure d'une artère radiculo-médullaire antérieure s'amincit en général, alors que la branche inférieure est de plus fort calibre; une telle disposition empêcherait le courant ascendant, alors qu'il faciliterait sa direction caudale. B. Bolton ajoute encore que la circulation dans les

rculation dans le réseau artériel périmédullaire.

erveau, on peut séparer dans le plan artériel péri-axial deux ques : d'une part, le cercle anastomotique de la base (polygone sente un dispositif de sécurité théoriquement idéal, qui n'a n autre point de l'organisme; d'autre part, le réseau cortical ois artères cérébrales et leurs anastomoses.

moelle épinière, il n'y a rien de comparable : le réseau péri- ar une importante voie longitudinale antérieure et médiane moelle épinière le tronc vertébro-basilaire, par d'autres voies oindre importance, et enfin par les anastomoses transver- nt.

réseau périmédullaire est très discutée. A. Charpy (1921), nettent qu'il réprésente une sorte de réservoir sanguin qui tères radiculaires et le répartit sur toute la longueur de la néité physiologique annulerait l'inégalité de la distribution e, il uniformiserait le débit dans la moelle. Cette vision est timiste; le réseau périmédullaire n'est pas un système anas- ance irréprochable et il ne protège pas tout l'organe.

pensait que la circulation se fait en sens différent suivant nche ascendante ou de la branche descendante d'une artère e et qu'à la limite de deux territoires, la pression est nulle; nce d'une ligne de partage a été reprise depuis par divers

a injecté l'artère spinale antérieure à différents niveaux; rsque l'injection est faite dans les artères lombaires, il est e bas en haut le système artériel de toute la moelle; tandis on est effectuée dans un vaisseau du tronçon cervical, le en bas n'est pas obtenu.

Alexander (1939) ont constaté également que, si l'injection artères des premiers segments cervicaux, la substance ne moelle cervicale; que si elle est faite dans les artères de la remonte dans les segments thoraciques inférieurs et moyens. ggéra aux auteurs l'hypothèse selon laquelle le courant a e antérieure une direction opposée : descendante dans la rvicale) et ascendante dans la partie inférieure (lombo- nférieure). Les artères périmédullaires de la région thora- nt de convergence des deux courants, représenteraient une rès insuffisante pour permettre une liaison entre les terri- périeur et inférieur.

par injection de celloïdine et d'encre de Chine dans les de l'aorte, dans les artères vertébrales et dans les artères la conclusion que la direction normale du courant dans ieure est cranio-caudale. A l'appui de cette hypothèse, il branche supérieure d'une artère radiculo-médullaire anté- énéral, alors que la branche inférieure est de plus fort osition empêcherait le courant ascendant, alors qu'il faci- udale. B. Bolton ajoute encore que la circulation dans les

artères spinales postérieures de la moelle lombaire et thoracique ne viendrait pas des artères radiculaires postérieures correspondantes qui sont petites et insignifiantes, mais de l'artère spinale antérieure, soit par l'intermédiaire du réseau périmédullaire, soit surtout à partir de deux branches transversales qui prennent naissance à la partie inférieure de l'artère, se dirigent vers l'arrière et vont ainsi s'anastomoser à plein canal avec la partie terminale de chaque artère spinale postérieure, en passant au-dessous de la cinquième racine sacrée. B. Bolton ne décrivait-il pas ce que nous avons appelé « l'anse anastomotique du cône » (v. p. 52) et dont le rôle dans la circulation ascendante vers les artères spinales postérieures n'a généralement pas été suffisamment souligné ?

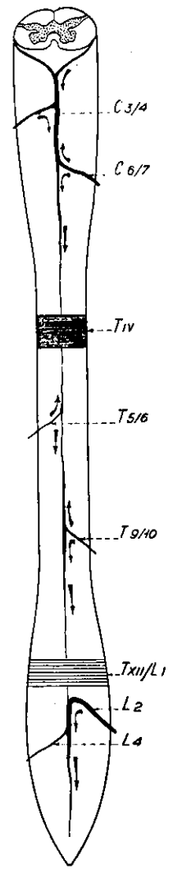


FIG. 98.

K. J. Zulch (1954-1962) admet encore que le courant se dirige vers le haut dans la branche ascendante d'une artère radiculaire et vers le bas dans sa branche descendante (fig. 98). Sur la moelle cervicale, le courant descendrait jusqu'à D4 environ. Au-dessous sur la moelle thoracique. il serait ascendant de D9-D10 à D4 et descendant jusqu'au début de la moelle lombaire. Sur la moelle lombo-sacrée, le courant est ascendant sur un très court trajet au-dessus de l'arrivée de la grande artère radiculaire (environ L2) et descendant au-dessous. Il y aurait un point vulnérable en D4 entre afflux cervical et thoracique et un

FIG. 98. — *Direction du courant dans l'artère spinale antérieure.* (D'après K. J. ZULCH, 1954-1962.)

Les zones striées correspondent aux régions situées aux confins des territoires vasculaires.

FIG. 99. — *Injection par le tronc basilaire.* Sortie par une artère radiculaire cervicale et retour par une artère radiculaire lombaire. Ce qui démontre l'absence d'anastomose verticale fonctionnelle. (Fœtus grandeur nature.)

FIG. 99.

autre en L1 entre afflux thoracique inférieur et lombaire supérieur (fig. 98).

E. E. Payne et J. D. Spillane (1957) ont limité leurs recherches à la moelle cervicale de dix sujets. Ils affirment que, lorsqu'une artère radiculaire rejoint l'artère spinale antérieure, le courant n'est pas nécessairement dirigé vers le bas, mais peut se diriger également dans le sens cranial. Chez chaque individu, le calibre et la disposition de chaque artère radiculaire diffèrent. Il s'ensuit une variabilité de la direction du courant dans les différents segments médullaires.

Dans le but d'étudier la circulation dans le réseau périmédullaire, nous avons réalisé un certain nombre d'expériences (1958); l'une d'entre elles nous a paru démonstrative : sur un fœtus, nous avons lié les deux artères vertébrales après leur traversée de la dure-mère occipitale, puis par injection sous pression du tronc basilaire, nous avons injecté la voie spinale antérieure de haut en bas. Sur les radiographies, nous pûmes constater que le produit opaque ne descendit pas au-delà du renflement cervical; aucune injection n'était visible dans le réseau artériel périmédullaire thoracique. Le produit fut, par contre, retrouvé beaucoup plus bas dans l'artère du renflement lombaire : il y était arrivé non pas par la voie périmédullaire, mais après être sorti du rachis par une des artères radiculaires cervicales, et après avoir rempli tout le système artériel, l'aorte et l'artère porteuse de l'artère du renflement lombaire (fig. 99). Cette expérience prouve que, même chez le fœtus, le réseau artériel périmédullaire ne constitue pas une voie anastomotique longitudinale capable de jouer un rôle de suppléance lors de l'obstruction de l'une des voies d'apport. Il est logique de penser que, chez l'adulte, on peut encore moins compter sur le fonctionnement de cette voie. Cette impossibilité d'injection au-delà de C4 ou C5 a été constatée par J. L. Corbin (1961) et par A. R. Taylor (1964).

Dans une deuxième série d'expériences, en 1962, nous avons tout d'abord confirmé le fait que l'injection d'une des artères vertébrales dans sa portion intracrânienne permet rarement de pousser le produit au-dessous de C4; une seule fois, il atteignait D6, mais cette injection fut un peu forcée et s'éloignait des conditions physiologiques. Nous avons ensuite injecté quatre fois l'artère du renflement lombaire et vu l'injection remplir de bas en haut toute la voie spinale antérieure. Il est à remarquer que cette injection n'était d'ailleurs efficace qu'en surface seulement, car à partir de la région thoracique moyenne, elle était toujours mauvaise en profondeur.

D'après nos expériences qui confirment les constatations de L. Tanon (1908) et de T. H. Suh et L. Alexander (1939), la voie spinale antérieure fonctionnerait donc mieux de bas en haut que de haut en bas...

En fait, les déductions faites à partir d'injections artérielles réalisées sur le cadavre ne sont point probantes, car elles sont loin des conditions physiologiques. On peut faire des critiques à propos de la technique des injections : la pression exercée et la durée de l'injection, la présence ou non de thrombus *post mortem* à l'intérieur des vaisseaux, la possibilité d'étirement et de déchirure des vaisseaux qui accompagnent inévitablement l'extraction de la moelle chez le cadavre peuvent conduire à des erreurs d'interprétation.

Que peut-on constater chez le vivant ?

A. Gouazé et coll. (1965), sur des animaux vivants (chien), ont découvert, après injection dans la 4e ou de la 5e artère intercostale d'un marqueur fluores-

fflux thoracique inférieur et lombaire supérieur (fig. 98). . D. Spillane (1957) ont limité leurs recherches à la moelle ts. Ils affirment que, lorsqu'une artère radiculaire rejoint ieure, le courant n'est pas nécessairement dirigé vers le riger également dans le sens cranial. Chez chaque indi- lisposition de chaque artère radiculaire diffèrent. Il s'ensuit la direction du courant dans les différents segments

udier la circulation dans le réseau périmédullaire, nous in nombre d'expériences (1958); l'une d'entre elles nous a sur un fœtus, nous avons lié les deux artères vertébrales le la dure-mère occipitale, puis par injection sous pression us avons injecté la voie spinale antérieure de haut en bas. nous pûmes constater que le produit opaque ne descendit nent cervical; aucune injection n'était visible dans le réseau thoracique. Le produit fut, par contre, retrouvé beaucoup du renflement lombaire : il y était arrivé non pas par la nais après être sorti du rachis par une des artères radi- après avoir rempli tout le système artériel, l'aorte et 'artère du renflement lombaire (fig. 99). Cette expérience ez le fœtus, le réseau artériel périmédullaire ne constitue otique longitudinale capable de jouer un rôle de suppléance le l'une des voies d'apport. Il est logique de penser que, encore moins compter sur le fonctionnement de cette voie. 'injection au-delà de C4 ou C5 a été constatée par par A. R. Taylor (1964).

ne série d'expériences, en 1962, nous avons tout d'abord l'injection d'une des artères vertébrales dans sa portion rarement de pousser le produit au-dessous de C4; une seule mais cette injection fut un peu forcée et s'éloignait des ues. Nous avons ensuite injecté quatre fois l'artère du vu l'injection remplir de bas en haut toute la voie spinale narquer que cette injection n'était d'ailleurs efficace qu'en à partir de la région thoracique moyenne, elle était toujours ur.

ences qui confirment les constatations de L. Tanon (1908) Alexander (1939), la voie spinale antérieure fonctionnerait haut que de haut en bas...

tions faites à partir d'injections artérielles réalisées sur int probantes, car elles sont loin des conditions physio- e des critiques à propos de la technique des injections : a durée de l'injection, la présence ou non de thrombus *post* des vaisseaux, la possibilité d'étirement et de déchirure ompagnent inévitablement l'extraction de la moelle chez nduire à des erreurs d'interprétation.

ater chez le vivant ?

(1965), sur des animaux vivants (chien), ont découvert, 4° ou de la 5° artère intercostale d'un marqueur fluores-

cent, une extension vers le renflement lombaire, ce qui est en faveur d'une bonne fonction des voies longitudinales au niveau des segments médullaires thoraciques moyens et inférieurs.

D'après H. D. Adams et H. H. van Geertruyden (1956), lorsque l'apport des artères radiculaires thoraciques et lombaires à la moelle est interrompu (cas d'anévrysmes disséquants de l'aorte ou d'occlusion temporaire de l'aorte lors des interventions pour sténose isthmique), il est très vraisemblable qu'il s'établit un courant de suppléance cranio-caudal des segments cervicaux vers les segments thoraco-lombo-sacrés par la voie spinale antérieure, car malgré l'interruption de l'apport artériel dans la moitié inférieure de la moelle, il ne se produit pas toujours de lésion nécrotique dans les tronçons spinaux correspondants.

L. C. Fried et J. L. Doppman et G. di Chiro (1970), par étude angiographique de la circulation de la moelle cervicale du singe, découvrent que l'injection se fait principalement à partir des artères radiculaires qui viennent du tronc cervico-intercostal et, de là, vers le haut et vers la moelle thoracique... Ces constatations paraissent aller totalement à l'encontre de celles faites chez l'Homme. Les auteurs déduisent pourtant de leur étude qu'il est possible d'avoir des angiographies médullaires cervicales par injection du produit dans le tronc cervico-intercostal. Leur conception attribue à l'artère radiculo-médullaire antérieure qui naît du tronc cervico-intercostal une importance qui confirme nos constatations, puisque nous sommes allés jusqu'à proposer de l'appeler « artère du renflement cervical » (v. p. 48).

Retenons de ces différents travaux quelques idées essentielles.

— Dans la voie spinale antérieure, au niveau des premiers segments cervicaux, le courant sanguin court en direction cranio-caudale. Sur la moelle lombo-sacrée, il se dirige aussi vers le bas, au-dessous de l'arrivée de l'artère du renflement lombaire (grande artère radiculaire d'Adamkiewicz). Dans la région intermédiaire, la voie spinale antérieure est alimentée par les branches de division des artères radiculo-médullaires antérieures et il est très probable que le courant n'a pas un sens unique, mais des directions opposées dans chacune de ces branches. Le courant descendant paraît être en général le plus important.

— Le réseau périmédullaire est une sorte de réservoir qui pourrait uniformiser le régime circulatoire des différentes régions. Mais le faible calibre de ses vaisseaux incite à conclure que les suppléances assurées ne peuvent pas aller au-delà des segments médullaires voisins et qu'il ne protège de façon certaine que le compartiment périphérique ou superficiel, c'est-à-dire la substance blanche essentiellement.

Y a-t-il lieu de distinguer dans le réseau périmédullaire un plan artériel antérieur et un plan artériel postérieur, et ces plans ont-ils une autonomie telle qu'ils puissent représenter le support de deux syndromes qui correspondraient à leur atteinte élective ?

Nous avons dit plus haut (p. 137) comment F. Lhermitte et J. L. Corbin (1961) trouvaient des raisons morphologiques d'opposer un système spinal antérieur et un système spinal postérieur, le second étant plus homogène, ce qui laisserait supposer une plus grande uniformité de son débit.

Cette schématisation nous paraît un peu trop poussée; la séparation entre deux plans artériels n'est pas nette et on peut difficilement admettre l'atteinte

élective de l'un ou de l'autre et la possibilité d'apparition d'un syndrome postérieur bien caractérisé, comme O. Perier et J. L. Dumanet, J. Henneaux et A. Nunes Vicente (1960) l'ont proposé (v. p. 169).

3° *La circulation artérielle intra-médullaire.*

— A l'intérieur de tout le névraxe, moelle épinière, tronc cérébral et cerveau, existent deux systèmes vasculaires qu'on peut appeler, suivant que l'on se rapporte à leur situation ou à leur territoire : système antérieur ou central et système postérieur ou périphérique :

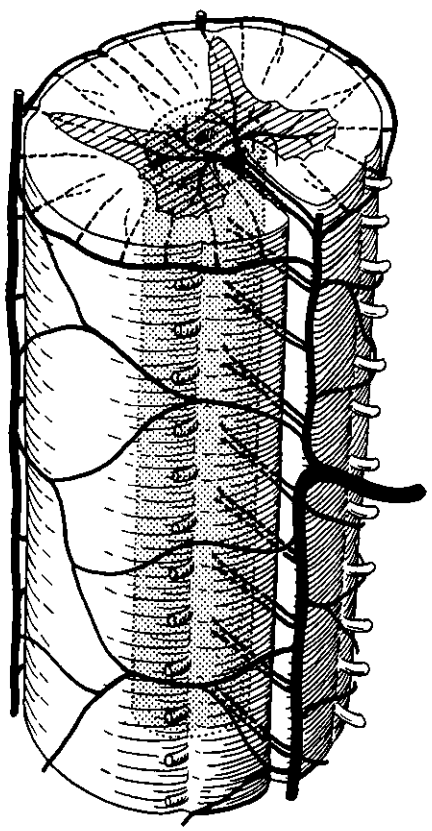


FIG. 100. — *Le réseau artériel péri-médullaire. Les systèmes artériels central et périphérique.*

Le système central est représenté par les artères centrales du cerveau, du tronc cérébral et de la moelle épinière; elles sont destinées essentiellement à la substance grise centrale.

Le système périphérique est constitué par les artères péri-axiales du cerveau, du tronc cérébral et de la moelle épinière; elles vascularisent surtout la substance blanche si ce n'est au niveau du cerveau et du cervelet où elles vont aussi à l'écorce de ces formations et s'appellent artères corticales.

— Au niveau de la moelle épinière, les deux systèmes sont peu séparés en surface; bien que l'on puisse admettre que les artères radiculo-médullaires antérieures alimentent la voie spinale antérieure et vont essentiellement au territoire central, tandis que les artères radiculo-médullaires postérieures vont aux voies spinales postérieures et se distribuent principalement au territoire périphérique; en fait, le réseau péri-médullaire les réunit intimement.

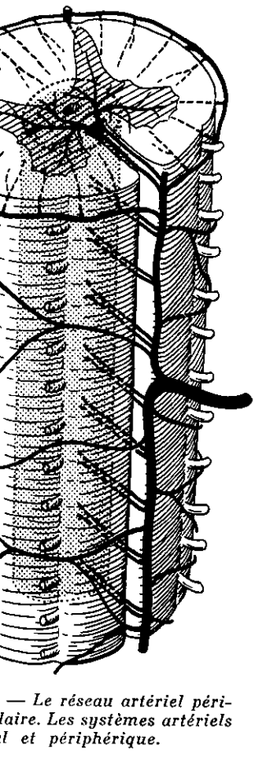
La question essentielle reste de savoir si les artères du système nerveux central sont terminales ou non ?

Les auteurs ne sont pas d'accord à ce sujet. Plusieurs, parmi lesquels R. A. Pfeiffer (1928), H. S. Forbes et G. Wolf (1928), L. Lesnitsky et coll. (1970), ont soutenu l'existence de véritables anastomoses entre les différents territoires vasculaires du névraxe. La plupart, H. Kadyi (1889), C. Fazio (1938), L. A. Gillilan (1958-1962), T. H. Suh et L. Alexander (1939), retiennent, au contraire, que les artères intra-médullaires se comportent comme des vaisseaux terminaux : le réseau anastomotique microscopique qui les unit n'est pas franchi par les injections de produits colorés ou radiovisibles et n'est donc pas fonctionnel. C'est ce que A. Charpy a résumé dans une

de l'un ou de l'autre et la possibilité d'apparition d'un syndrome postéen caractérisé, comme O. Perier et J. L. Dumanet, J. Henneaux et s Vicente (1960) l'ont proposé (v. p. 169).

3° La circulation artérielle intra-médullaire.

l'intérieur de tout le névraxe, moelle épinière, tronc cérébral et cerveau, deux systèmes vasculaires qu'on peut appeler, suivant que l'on se rapporte à leur situation ou à leur territoire : système antérieur ou central et système postérieur ou périphérique :



— Le réseau artériel périlaire. Les systèmes artériels l et périphérique.

Le système central est représenté par les artères centrales du cerveau, du tronc cérébral et de la moelle épinière; elles sont destinées essentiellement à la substance grise centrale.

Le système périphérique est constitué par les artères péri-axiales du cerveau, du tronc cérébral et de la moelle épinière; elles vascularisent surtout la substance blanche si ce n'est au niveau du cerveau et du cervelet où elles vont aussi à l'écorce de ces formations et s'appellent artères corticales.

— Au niveau de la moelle épinière, les deux systèmes sont peu séparés en surface; bien que l'on puisse admettre que les artères radiculo-médullaires antérieures alimentent la voie spinale antérieure et vont essentiellement au territoire central, tandis que les artères radiculo-médullaires postérieures vont aux voies spinales postérieures et se distribuent principalement au territoire périphérique; en fait, le réseau périmédullaire les réunit intimement.

La question essentielle reste de savoir si les artères du système nerveux central sont terminales ou non ?

Les auteurs ne sont pas d'accord à ce sieurs, parmi lesquels R. A. Pfeiffer (1928), H. S. Forbes et G. Wolf Lesnitsky et coll. (1970), ont soutenu l'existence de véritables anasentre les différents territoires vasculaires du névraxe. La plupart, H. 389), C. Fazio (1938), L. A. Gillilan (1958-1962), T. H. Suh et L. Alexan), retiennent, au contraire, que les artères intra-médullaires se comporme des vaisseaux terminaux : le réseau anastomotique microscopique nit n'est pas franchi par les injections de produits colorés ou radio- n'est donc pas fonctionnel. C'est ce que A. Charpy a résumé dans une

formule un peu trop absolue : « à l'extérieur du névraxe tout communique; à l'intérieur rien ne communique ».

Cela paraît vrai au niveau du cerveau où les territoires centraux et périphériques sont séparés, indépendants, sans compensation possible. Une artère centrale ou une artère périphérique n'assurent une vascularisation suffisante que dans le territoire limite de son réseau capillaire terminal.

Qu'en est-il au niveau de la moelle épinière ?

Les artères périphériques sont réunies entre elles par un réseau capillaire d'un calibre tel qu'il ne peut pas être fonctionnel. Leurs anastomoses, s'il y en a, semblent peu importantes et sans fonction (v. p. 90).

Les artères centrales seraient, au contraire, réunies par des anastomoses (v. p. 82).

Il faut tout d'abord concevoir que chacune d'elles étale ses branches terminales sur une hauteur variable de 2 à 3 cm. Pour K. Jellinger (1966), chaque artère centrale alimente une zone d'une hauteur de 15 à 20 mm et pouvant aller jusqu'à 50 à 60 mm. Cela signifie, puisque l'on sait que le nombre des artères centrales varie par centimètre de 1 à 8 (v. p. 80), qu'il existe un important chevauchement des territoires irrigués par les artères centrales, surtout au niveau des renflements où la densité des artères centrales est plus grande. Chaque artère centrale alimente plusieurs groupes cellulaires et chaque groupe cellulaire est irrigué par plusieurs artères (H. H. M. Woollam et J. V. Millen, 1955-1958; J. L. Corbin, 1961) (v. p. 84). I. M. Turnbull, A. Brieg et O. Hassler (1966) ont aussi démontré que dans la région cervicale, les ramifications des artères centrales se superposent comme les branches des arbres poussant côte à côte.

Les artères centrales sont, de plus, anastomosées : une première anastomose serait représentée par les rameaux ascendants et descendants qui se détachent du tronc des artères centrales au niveau de la commissure grise et qui s'unissent à plein canal avec les rameaux correspondants des artères sus- et sous-jacentes, de façon à former un canal vasculaire paramédian (A. Adamkiewicz, 1881), ou bien un système longitudinal d'artères courant sur les côtés du canal épendymaire (Laruelle, v. p. 83). Ce système anastomotique développé principalement dans la région dorsale de la moelle compenserait en partie la situation hémodynamique précaire de cette région due à l'exiguïté et à la discontinuité fréquente de l'artère spinale antérieure et à la pauvreté des vaisseaux centraux... ? Entre les artères centrales d'un même étage existerait encore une autre possibilité de communication représentée par les anastomoses transversales qui unissent les artères d'un côté et celles du côté opposé en passant soit devant, soit derrière le canal épendymaire : R. H. Pitzorno (1903) l'a décrit chez l'Homme et chez plusieurs Mammifères (v. p. 82).

Les artères centrales et les artères périphériques ne communiquent que par le réseau capillaire. Dans les préparations de moelle *post-mortem*, l'injection à basse pression maintenue longuement réussit à injecter soit les artères seules, soit avec elles les capillaires, soit même parfois jusqu'aux veines; l'injection atteint soit le seul territoire injecté, soit une partie ou tout le lit vasculaire, ce qui suppose nécessairement une communication entre les différents territoires.

Il semble toutefois vraisemblable qu'*in vivo* une artère périphérique ou une artère centrale ne puisse pourvoir qu'à la circulation de son propre réseau capil-

l'autre et la possibilité d'apparition d'un syndrome posté-
, comme O. Perier et J. L. Dumanet, J. Henneaux et
0) l'ont proposé (v. p. 169).

a circulation artérielle intra-médullaire.

tout le névraxe, moelle épinière, tronc cérébral et cerveau,
s vasculaires qu'on peut appeler, suivant que l'on se rapporte à leur situation ou à leur territoire : système antérieur ou central et système postérieur ou périphérique :

tériel péri-
es artériels
ue.

Le système central est représenté par les artères centrales du cerveau, du tronc cérébral et de la moelle épinière; elles sont destinées essentiellement à la substance grise centrale.

Le système périphérique est constitué par les artères péri-axiales du cerveau, du tronc cérébral et de la moelle épinière; elles vascularisent surtout la substance blanche si ce n'est au niveau du cerveau et du cervelet où elles vont aussi à l'écorce de ces formations et s'appellent artères corticales.

— Au niveau de la moelle épinière, les deux systèmes sont peu séparés en surface; bien que l'on puisse admettre que les artères radiculo-médullaires antérieures alimentent la voie spinale antérieure et vont essentiellement au territoire central, tandis que les artères radiculo-médullaires postérieures vont aux voies spinales postérieures et se distribuent principalement au territoire périphérique; en fait, le réseau périmédullaire les réunit intimement.

La question essentielle reste de savoir si les artères du système nerveux central sont terminales ou non ?

Les auteurs ne sont pas d'accord à ce
lesquels R. A. Pfeiffer (1928), H. S. Forbes et G. Wolf
coll. (1970), ont soutenu l'existence de véritables anas-
rents territoires vasculaires du névraxe. La plupart, H.
(1938), L. A. Gillilan (1958-1962), T. H. Suh et L. Alexan-
au contraire, que les artères intra-médullaires se compor-
aux terminaux : le réseau anastomotique microscopique
franchi par les injections de produits colorés ou radio-
as fonctionnel. C'est ce que A. Charpy a résumé dans une

formule un peu trop absolue : « à l'extérieur du névraxe tout communique; à l'intérieur rien ne communique ».

Cela paraît vrai au niveau du cerveau où les territoires centraux et périphériques sont séparés, indépendants, sans compensation possible. Une artère centrale ou une artère périphérique n'assurent une vascularisation suffisante que dans le territoire limite de son réseau capillaire terminal.

Qu'en est-il au niveau de la moelle épinière ?

Les artères périphériques sont réunies entre elles par un réseau capillaire d'un calibre tel qu'il ne peut pas être fonctionnel. Leurs anastomoses, s'il y en a, semblent peu importantes et sans fonction (v. p. 90).

Les artères centrales seraient, au contraire, réunies par des anastomoses (v. p. 82).

Il faut tout d'abord concevoir que chacune d'elles étale ses branches terminales sur une hauteur variable de 2 à 3 cm. Pour K. Jellinger (1966), chaque artère centrale alimente une zone d'une hauteur de 15 à 20 mm et pouvant aller jusqu'à 50 à 60 mm. Cela signifie, puisque l'on sait que le nombre des artères centrales varie par centimètre de 1 à 8 (v. p. 80), qu'il existe un important chevauchement des territoires irrigués par les artères centrales, surtout au niveau des renflements où la densité des artères centrales est plus grande. Chaque artère centrale alimente plusieurs groupes cellulaires et chaque groupe cellulaire est irrigué par plusieurs artères (H. H. M. Woollam et J. V. Millen, 1955-1958; J. L. Corbin, 1961) (v. p. 84). I. M. Turnbull, A. Brieg et O. Hassler (1966) ont aussi démontré que dans la région cervicale, les ramifications des artères centrales se superposent comme les branches des arbres poussant côte à côte.

Les artères centrales sont, de plus, anastomosées : une première anastomose serait représentée par les rameaux ascendants et descendants qui se détachent du tronc des artères centrales au niveau de la commissure grise et qui s'unissent à plein canal avec les rameaux correspondants des artères sus- et sous-jacentes, de façon à former un canal vasculaire paramédian (A. Adamkiewicz, 1881), ou bien un système longitudinal d'artères courant sur les côtés du canal épendymaire (Laruelle, v. p. 83). Ce système anastomotique développé principalement dans la région dorsale de la moelle compenserait en partie la situation hémodynamique précaire de cette région due à l'exiguïté et à la discontinuité fréquente de l'artère spinale antérieure et à la pauvreté des vaisseaux centraux... ? Entre les artères centrales d'un même étage existerait encore une autre possibilité de communication représentée par les anastomoses transversales qui unissent les artères d'un côté et celles du côté opposé en passant soit devant, soit derrière le canal épendymaire : R. H. Pitzorno (1903) l'a décrit chez l'Homme et chez plusieurs Mammifères (v. p. 82).

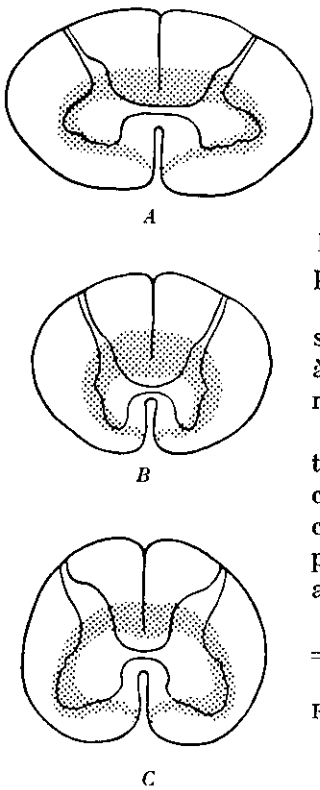
Les artères centrales et les artères périphériques ne communiquent que par le réseau capillaire. Dans les préparations de moelle *post mortem*, l'injection à basse pression maintenue longuement réussit à injecter soit les artères seules, soit avec elles les capillaires, soit même parfois jusqu'aux veines; l'injection atteint soit le seul territoire injecté, soit une partie ou tout le lit vasculaire, ce qui suppose nécessairement une communication entre les différents territoires.

Il semble toutefois vraisemblable qu'*in vivo* une artère périphérique ou une artère centrale ne puisse pourvoir qu'à la circulation de son propre réseau capil-

laire; lors de l'occlusion d'une des artères mentionnées, le sang arrive difficilement jusqu'aux aires vasculaires adjacentes; s'il y parvient, ce sera de façon insuffisante, étant donné l'extrême exiguïté des capillaires. On peut considérer les artères intra-médullaires comme terminales dans le sens de J. Conheim (1872), c'est-à-dire ne communiquant pas entre elles par des capillaires d'un calibre suffisant (de 7 à 13 μ).

Puisque les ramifications intra-médullaires doivent être considérées comme fonctionnellement terminales, la délimitation de leurs territoires distincts est très possible (v. p. 88).

1° Le territoire central, qui appartient aux artères médianes antérieures, correspond aux 4/5 antérieurs de la moelle : à la substance grise de la corne antérieure, de la substance péri-épendymaire, de la corne latérale, de la base de la corne postérieure et à la partie profonde des cordons antérieurs (faisceau réticulo-spinal), du cordon latéral (tiers antérieur du faisceau pyramidal croisé) et du cordon postérieur. A l'intérieur du territoire central, il existe probablement des suppléances d'un côté à l'autre ou d'un segment aux segments voisins, assurées par les anastomoses citées plus haut.



2° Le territoire périphérique a une forme de croissant ouvert en avant, il s'élargit en arrière; il correspond à la tête de la corne postérieure et à la partie périphérique des cordons antérieurs latéraux et postérieurs.

La division du territoire périphérique en deux territoires proposée par J. L. Corbin (1961) : un postérieur correspondant à la tête de la corne postérieure et au cordon postérieur, et un latéral correspondant à la partie périphérique des cordons antérieur et latéral, paraît bien artificielle.

FIG. 101. — *Territoires central et périphérique au niveau des moelles cervicales* A, *dorsale* B *et lombaire* C. En pointillé, le territoire commun. (D'après I. M. TURNBULL, A. BRIEG et O. HARSLER, 1966.)

L'étendue des territoires central et périphérique varie d'une région à l'autre (voir première partie, p. 85). Le territoire périphérique est plus grand dans les régions cervicale et thoracique que dans la région lombo-sacrée. Le territoire central est plus important au niveau des renflements cervical et lombaire. Ces différences correspondent à l'importance plus ou moins grande de la substance blanche et de la substance grise. Peut-on en conclure qu'une atteinte de la voie spinale antérieure est plus grave dans les régions cervicale et lombo-sacrée que dans la région thoracique ?

La zone frontière entre les deux territoires central et périphérique est-elle nette ? Certains l'ont admis et ont proposé des délimitations très précises.

D'autres ont, au contraire, décrit un chevauchement des territoires. I. M. Turnbull, A. Brieg et O. Hassler (1966) ont en particulier délimité les zones

on d'une des artères mentionnées, le sang arrive difficile-
vasculaires adjacentes; s'il y parvient, ce sera de façon
né l'extrême exiguïté des capillaires. On peut considérer
laires comme terminales dans le sens de J. Conheim (1872),
niquant pas entre elles par des capillaires d'un calibre
).
ications intra-médullaires doivent être considérées comme
inales, la délimitation de leurs territoires distincts est très

entral, qui appartient aux artères médianes antérieures, correspond aux 4/5 antérieurs de la moelle : à la substance grise de la corne antérieure, de la substance péri-épendymaire, de la corne latérale, de la base de la corne postérieure et à la partie profonde des cordons antérieurs (faisceau réticulo-spinal), du cordon latéral (tiers antérieur du faisceau pyramidal croisé) et du cordon postérieur. A l'intérieur du territoire central, il existe probablement des suppléances d'un côté à l'autre ou d'un segment aux segments voisins, assurées par les anastomoses citées plus haut.

2° Le territoire périphérique a une forme de croissant ouvert en avant, il s'élargit en arrière; il correspond à la tête de la corne postérieure et à la partie périphérique des cordons antérieurs latéraux et postérieurs.

La division du territoire périphérique en deux territoires proposée par J. L. Corbin (1961) : un postérieur correspondant à la tête de la corne postérieure et au cordon postérieur, et un latéral correspondant à la partie périphérique des cordons antérieur et latéral, paraît bien artificielle.

FIG. 101. — *Territoires central et périphérique au niveau des moelles cervicales* A, *dorsale* B *et lombaire* C. En pointillé, le territoire commun. (D'après I. M. TURNBULL, A. BRIEG et O. HARSLER, 1966.)

itoires central et périphérique varie d'une région à l'autre
p. 85). Le territoire périphérique est plus grand dans les
oracique que dans la région lombo-sacrée. Le territoire
tant au niveau des renflements cervical et lombaire. Ces
ent à l'importance plus ou moins grande de la substance
nce grise. Peut-on en conclure qu'une atteinte de la voie
plus grave dans les régions cervicale et lombo-sacrée que
que ?
entre les deux territoires central et périphérique est-elle
dmis et ont proposé des délimitations très précises.
contraire, décrit un chevauchement des territoires.
g et O. Hassler (1966) ont en particulier délimité les zones

de chevauchement qui se trouvent au point de rencontre des deux territoires. Elles seraient non plus vulnérables, comme on l'avait cru, mais au contraire privilégiées puisque possédant une vascularisation de double origine (v. p. 92).

4° *Conclusions sur la circulation artérielle.*

Les voies de suppléance artérielle existent à tous les niveaux, mais elles sont de valeur inégale et leur capacité fonctionnelle n'est pas à toute épreuve. Sur les voies d'apport, surtout au niveau des renflements, les afférences sont nombreuses; la compensation à un déficit circulatoire par afflux collatéral est possible. Le réseau périmédullaire n'est anastomotique que dans certaines limites d'étendue. Les anastomoses intra-médullaires, entre les artères centrales et les artères périphériques n'ont aussi de valeur fonctionnelle que pour une étroite zone frontière.

Le dispositif anatomique permet de distinguer des territoires verticaux et horizontaux.

Dans le sens vertical, trois territoires : supérieur ou cervico-thoracique, intermédiaire ou thoracique moyen, inférieur ou thoraco-lombo-sacré, doivent être distingués.

Entre les territoires supérieur et inférieur bien vascularisés et correspondant aux renflements, les segments moyens de la moelle thoracique ont une vascularisation qui paraît pauvre tant sur le plan extra-médullaire qu'intra-médullaire. Nous y avons insisté dans plusieurs de nos publications et dès 1957. De nombreux auteurs ont conclu avec nous à la plus grande vulnérabilité de ces segments, qui paraît démontrée par la pathologie (v. p. 169).

D. H. M. Woollam et J. W. Millen (1955) ont remarqué que les artères centrales de la moelle thoracique ont un mode de division et de distribution qui diffèrent des autres. La division de leurs rameaux est de type monopodique, alors que dans les moelles cervicale et lombaire, elle est de type dichotomique (fig. 102). Dans la division de type monopodique, la pression tend à se réduire au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'extrémité du tronc principal; dans la division de type dichotomique, au contraire, la pression peut se maintenir jusqu'aux

FIG. 102. — *Les ramifications des artères intramédullaires, type monopodique, dans la moelle thoracique et type dichotomique dans les autres régions.* (D'après H. H. M. WOLLAM et J. W. MILLEN, 1955.)

dernières ramifications. J. Scharer (1944) avait déjà soutenu une hypothèse analogue pour expliquer la vulnérabilité de l'hippocampe à l'intoxication à l'oxyde de carbone; elle serait due à la vascularisation de type monopodique de cette formation.

Ajoutons toutefois que la vascularisation artérielle réduite d'un territoire déterminé n'implique pas nécessairement que la quantité de sang qui y afflue soit insuffisante ou *inadéquate* à ses exigences métaboliques. Dans le névraxe, la vascularisation est sans doute directement proportionnelle au nombre de neurones ainsi qu'à la densité des terminaisons synaptiques; dans la moelle thoracique moyenne, la substance grise, et donc les neurones et les terminaisons synaptiques, sont moins nombreux que dans les moelles cervicale et lombaire; il peut donc se faire qu'en valeur absolue, la vascularisation de la moelle thoracique ne soit pas inférieure à celle des autres régions (L. A. Gillilan, 1958; K. Jellinger, 1964).

Dans le sens transversal, deux territoires : un central et un périphérique sont à distinguer.

Ces deux territoires, au lieu d'être juxtaposés comme beaucoup d'auteurs l'ont admis, s'interpénètrent dans leur réseau terminal; il y a un chevauchement. S'il en est ainsi, les zones les plus menacées par l'ischémie ne seraient pas à la limite de deux territoires d'irrigation, comme cela a été dit pour la moelle comme pour le cerveau (M. Schneider, 1952; K. J. Zulch, 1954-1966). La zone limitrophe serait non une région menacée mais, au contraire, une région protégée... Constatons que la majorité des ramollissements de la moelle ne se trouvent pas en effet dans les zones frontières, c'est-à-dire dans la partie profonde de la substance blanche, mais presque toujours dans le territoire central. Un territoire, et en particulier le territoire central qui ne dépend que d'une source de vascularisation, est plus menacé que les zones qui reçoivent leur irrigation à la fois des artères centrales et des artères périphériques. Au sein du territoire central, des suppléances peuvent s'établir, d'artère centrale à artère centrale dans le sens vertical, nous l'avons vu page 82, mais certainement pas au-delà de certaines limites...

II. — LA CIRCULATION VEINEUSE

1° La circulation veineuse intra-médullaire.

La différence fondamentale de la vascularisation intra-médullaire veineuse par rapport à la vascularisation artérielle est constituée par l'union du drainage veineux des deux moitiés de moelle et par l'existence d'anastomoses, aussi bien dans le sens vertical qu'entre les territoires central et superficiel.

On peut distinguer un système de drainage antérieur et un système postérieur.

La zone de drainage centrale et ventrale vient essentiellement de la commissure grise, des cornes antérieures, des faisceaux pyramidaux. La voie de drainage périphérique et dorsale vient de la corne postérieure et des cordons postérieur et latéral.

Les territoires veineux sont répartis de façon inverse des territoires artériels: les veines de la surface ventrale drainent le sang d'une aire médullaire correspondant *grosso modo* au tiers antérieur, alors que toute la partie restante va vers les veines de la surface dorsale (v. fig. 81, p. 111). Le territoire veineux postérieur est donc plus important que le territoire artériel postérieur et inversement...

s que la vascularisation artérielle réduite d'un territoire
as nécessairement que la quantité de sang qui y afflue soit
uate à ses exigences métaboliques. Dans le névraxe, la vas-
oute directement proportionnelle au nombre de neurones
des terminaisons synaptiques; dans la moelle thoracique
grise, et donc les neurones et les terminaisons synap-
breux que dans les moelles cervicale et lombaire; il peut
eur absolue, la vascularisation de la moelle thoracique ne
elle des autres régions (L. A. Gillilan, 1958; K. Jellinger,

rsal, deux territoires : un central et un périphérique sont

es, au lieu d'être juxtaposés comme beaucoup d'auteurs
ètrent dans leur réseau terminal; il y a un chevauche-
les zones les plus menacées par l'ischémie ne seraient pas
ritoires d'irrigation, comme cela a été dit pour la moelle
(M. Schneider, 1952; K. J. Zulch, 1954-1966). La zone limi-
région menacée mais, au contraire, une région protégée...
jorité des ramollissements de la moelle ne se trouvent
zones frontières, c'est-à-dire dans la partie profonde de
nais presque toujours dans le territoire central. Un terri-
le territoire central qui ne dépend que d'une source
plus menacé que les zones qui reçoivent leur irrigation
ntrales et des artères périphériques. Au sein du territoire
es peuvent s'établir, d'artère centrale à artère centrale
nous l'avons vu page 82, mais certainement pas au-delà

II. — LA CIRCULATION VEINEUSE

circulation veineuse intra-médullaire.

amentale de la vascularisation intra-médullaire veineuse
arisation artérielle est constituée par l'union du drainage
és de moelle et par l'existence d'anastomoses, aussi bien
u'entre les territoires central et superficiel.
un système de drainage antérieur et un système postérieur.
ge centrale et ventrale vient essentiellement de la com-
es antérieures, des faisceaux pyramidaux. La voie de drai-
rsale vient de la corne postérieure et des cordons postérieur

eux sont répartis de façon inverse des territoires artériels:
ventrale drainent le sang d'une aire médullaire correspon-
iers antérieur, alors que toute la partie restante va vers
dorsale (v. fig. 81, p. 111). Le territoire veineux postérieur
t que le territoire artériel postérieur et inversement...

2° *La circulation veineuse extra-médullaire.*

— **Les veines péri-médullaires** sont unies par un important réseau anastomotique. La ligature d'une ou de plusieurs veines radiculaires, même importantes, ne détermine ni lésion, ni trouble médullaire.

— **Les plexus veineux épiduraux intra-rachidiens** ont, d'après H. J. Clemens (1961), une surface approximativement vingt fois plus grande que celle des artères correspondantes. Ils représentent une voie sans valvule étendue de la base du crâne au bassin; le sang peut donc y circuler dans tous les sens.

Ils sont construits de telle manière que, lorsqu'ils sont obstrués, le sang est immédiatement dérivé vers d'autres voies et qu'il n'apparaît aucune anomalie de volume et de pression. W. F. Herlihy (1947) fait de ce système un absorbeur de pression. W. F. Herlihy et, plus tard, D. Bowsher (1960) démontrent que les oscillations de la pression physiologique du liquide céphalo-rachidien qui dépendent de la respiration, des pulsions cardiaques, de la toux, etc., se font par l'intermédiaire du remplissage des plexus veineux rachidiens. La manœuvre de Queckensstedt-Stookey, qui permet de juger de la liberté des espaces, repose sur ce fait. Une augmentation de la pression veineuse intra-crânienne par pression des jugulaires, ou de la pression veineuse abdominale par compression de la veine cave inférieure, détermine, par augmentation du volume des plexus veineux épiduraux, une augmentation de la pression du liquide céphalo-rachidien.

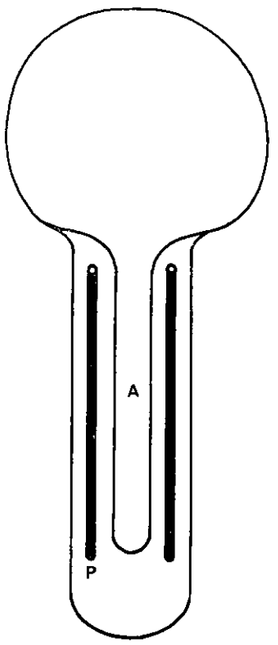


FIG. 103. — *La paroi osseuse crânienne et rachidienne est représentée par le trait extérieur. A,* est l'espace sous arachnoïdien; *P,* le plexus veineux intrarachidien.
Une augmentation de la pression veineuse se répercute non sur la paroi osseuse mais sur le sac arachnoïdien. (D'après H. J. CAMPBELL.)

Les systèmes cave et azygos ne sont pas pourvus de valvules; dans les cas d'obstruction des veines thoracique ou abdominale, une tension rétrograde peut s'étendre aux veines épidurales. Toutefois, le tissu fibreux qui entoure les plexus épiduraux empêche que ces veines ne deviennent variqueuses (Northway et Burton, 1945). La compression de la veine cave inférieure par pression abdominale est utilisée dans les veinographies spinales intra-osseuses pour obtenir une meilleure visualisation des plexus veineux vertébraux.

— Un point important est de savoir si *la circulation veineuse médullaire et la circulation veineuse épidurale et rachidienne* sont en liaison directe, si une

hyperpression dans les grosses veines de drainage, veines caves, azygos, lombaires et intercostales, se répercute à la fois sur l'un et l'autre système.

Il semble qu'il y ait, sur les veines radiculaires qui drainent le sang veineux médullaire, des valvules. Les auteurs ont conclu à leur existence sans les avoir découvertes réellement, ni les avoir démontrées sur des pièces histologiques, tout au moins à notre connaissance (v. p. 116). On admet leur existence car, d'une part, lorsque sur des pièces anatomiques, on injecte les veines lombaires et intercostales, le produit va dans les plexus rachidiens et intra-rachidiens et non dans les veines médullaires et, d'autre part, la ligature d'une grosse veine de drainage, comme la veine cave inférieure qui provoque une importante circulation collatérale, n'entraîne aucun trouble médullaire (Northway et Burton, 1945; C. T. Gurrington et A. F. Jones, 1952). Ces conclusions par trop absolues ont été révisées récemment par J. Aboulker et coll. (1971 (v. p. 189).

B. — RÉGULATION DE LA CIRCULATION DE LA MOELLE ÉPINIÈRE (*)

Nous constations plus haut (v. p. 127) combien, à la différence de ce qui est pour la circulation cérébrale, nos connaissances sur la circulation et l'hémodynamique de la moelle épinière sont pauvres. La principale des raisons est que la majeure partie des techniques d'exploration utilisées pour la circulation cérébrale s'applique difficilement à celle de la moelle. Ceci est particulièrement vrai pour les méthodes de mesure de débit circulatoire utilisant des gaz inertes radio-actifs, car elles exigent une injection intra-artérielle sélective du traceur dans le territoire exploré, ce qui est de réalisation plus difficile que pour les injections intra-carotidiennes.

I. — LES MÉTHODES D'EXPLORATION ET LEURS RÉSULTATS

Vitesse circulatoire médullaire. — Par les techniques de fluorescence et d'angiographie, la vitesse circulatoire a été calculée grâce à l'observation de la moelle thoracique du lapin et du chien.

Les techniques d'angiographie médullaire sélective mises au point par R. Djindjian, R. Houdart et M. Hurth (1962-1965) (voir 3e partie), et les techniques de marquage par la fluorescence, (A. Gouazé et coll., 1964), permettent d'aboutir actuellement à la notion de vitesse circulatoire médullaire.

Mesure du débit sanguin cérébral médullaire. — La *mesure de la clearance thermique* à l'aide de thermosondes, selon la méthode thermo-électrique de F. A. Gibbs (1933), a été appliquée sur l'animal par E. J. Field, J. Grayson et A. F. Rogers (1951), A. Capon (1961) et H. Palleske (1968). Etant donné que la température de la moelle après laminectomie est de quelques dixièmes de degré inférieure à celle du sang, tout réchauffement enregistré correspond à une augmentation locale du débit sanguin. Cette même technique a été utilisée depuis 1968 par R. Wullenweber pour déterminer le débit sanguin médullaire de l'homme en per-opératoire.

(*) Avec la collaboration de Yves LAZORTHES, Maître de Conférences, agrégé de Neurochirurgie, Toulouse.

grosses veines de drainage, veines caves, azygos, lombaires
ercute à la fois sur l'un et l'autre système.
t, sur les veines radiculaires qui drainent le sang veineux
s. Les auteurs ont conclu à leur existence sans les avoir
ni les avoir démontrées sur des pièces histologiques, tout
ssance (v. p. 116). On admet leur existence car, d'une part,
anatomiques, on injecte les veines lombaires et intercos-
s les plexus rachidiens et intra-rachidiens et non dans les
d'autre part, la ligature d'une grosse veine de drainage,
férieure qui provoque une importante circulation colla-
trouble médullaire (Northway et Burton, 1945; C. T. Gur-
1952). Ces conclusions par trop absolues ont été révisées
lker et coll. (1971 (v. p. 189).

RÉGULATION DE LA CIRCULATION DE LA MOELLE ÉPINIÈRE (*)

us haut (v. p. 127) combien, à la différence de ce qui est
orale, nos connaissances sur la circulation et l'hémodyna-
nière sont pauvres. La principale des raisons est que la
niques d'exploration utilisées pour la circulation cérébrale
à celle de la moelle. Ceci est particulièrement vrai pour
de débit circulatoire utilisant des gaz inertes radio-actifs,
ction intra-artérielle sélective du traceur dans le territoire
réalisation plus difficile que pour les injections intra-

ÉTHODES D'EXPLORATION ET LEURS RÉSULTATS

dullaire. — Par les techniques de fluorescence et d'angio-
latoire a été calculée grâce à l'observation de la moelle
du chien.
ngiographie médullaire sélective mises au point par R.
t M. Hurth (1962-1965) (voir 3e partie), et les techniques
rescence, (A. Gouazé et coll., 1964), permettent d'aboutir
de vitesse circulatoire médullaire.

uin cérébral médullaire. — La *mesure de la clearance ther-*
sondes, selon la méthode thermo-électrique de F. A. Gibbs
sur l'animal par E. J. Field, J. Grayson et A. F. Rogers
et H. Palleske (1968). Etant donné que la température de
omie est de quelques dixièmes de degré inférieure à celle
ient enregistré correspond à une augmentation locale du
me technique a été utilisée depuis 1968 par R. Wullen-
e débit sanguin médullaire de l'homme en per-opératoire.

n de Yves LAZORTHES, Maître de Conférences, agrégé de Neurochi-

Cette méthode permet d'aboutir à la notion du débit sanguin médullaire local, de réaliser des mesures en continu et d'explorer d'une manière simultanée et comparative plusieurs territoires. La possibilité d'exploration simultanée représente un des plus grands avantages de la méthode, car elle a permis de comparer les mécanismes de régulation du débit sanguin médullaire et ceux du débit sanguin cérébral actuellement bien connus. Par contre, elle ne permet pas d'aboutir à une valeur quantitative, mais seulement à un index.

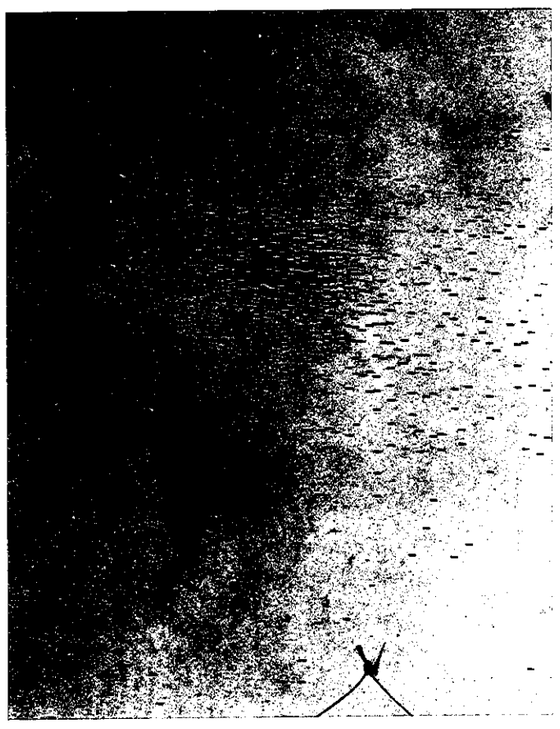


FIG. 104.

Injection de macro-agrégats marqués à l'Iode 131 dans une artère intercostale droite non porteuse de l'A.R.L. (D'après R. DJINDJIAN, R. MAMO et J. SEYLAZ, 1970.)

L'injection de corps radio-actifs dans une artère intercostale a été réalisée par R. Djindjian, R. Mamo et J. Seylaz (1970).

L'injection de macro-agrégats marqués à l'Iode 131 ou au technetium 99 suivie de scintigraphie opacifie l'hémivertèbre et la côte si l'artère intercostale n'est pas porteuse de l'A.R.L. (fig. 104); il s'y ajoute une opacification médiane rectiligne, répondant à la voie spinale antérieure si l'artère intercostale est porteuse de l'A.R.L. (fig. 105).

L'injection de 3 millicuries de Xénon 133 dans l'artère intercostale porteuse de l'A.R.L. permet d'étudier la courbe de désaturation du tissu nerveux. Cette courbe, pour ce qui concerne le débit moyen, s'étend sur 12 minutes environ avec 2 à 8 000 coups au départ. On extrait de cette courbe des éléments qui,

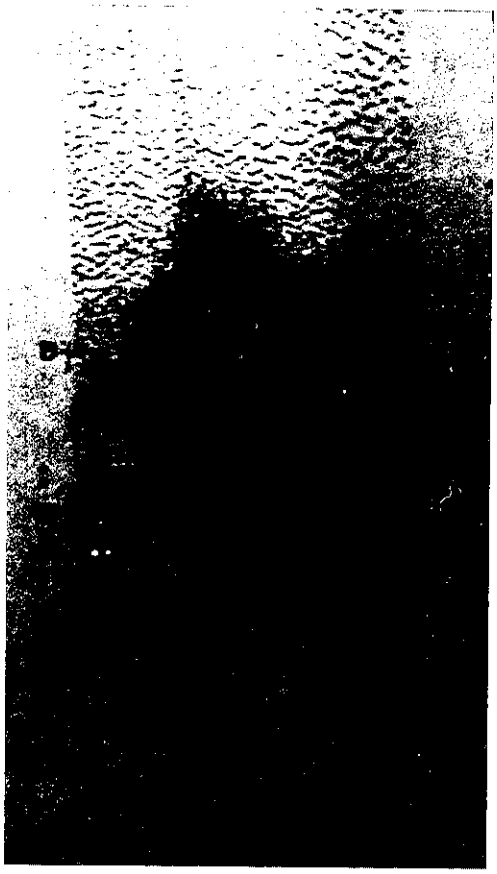


FIG. 105.

Injection de macro-agrégats marqués à l'iode 131 dans une artère intercostale porteuse de l'A.R.L. (D'après R. DJINDJIAN, R. MAMO et J. SEYLAZ, 1970.)

FIG. 106.

Injection de Xénon 133 dans l'artère intercostale porteuse d'une A.R.L. normale. (D'après R. DJINDJIAN, R. MAMO et J. SEYLAZ, 1970.)

FIG. 105.

Injection de macro-agrégats marqués à l'iode 131 dans une artère intercostale porteuse de l'A.R.L. (D'après R. DJINDJIAN, R. MAMO et J. SEYLAZ, 1970.)

dans l'artère d'une A.R.L.
R. DJINDJIAN,
970.)

FIG. 107.

FIG. 108. — *Injection de Xénon 133 dans une artère intercostale porteuse d'une A.R.L. dilatée nourrissant un angiome médullaire.*

FIG. 107. — *Injection de Xénon 133 dans une artère intercostale non porteuse d'une artère médullaire.* (D'après R. DJINDJIAN, R. MAMO et J. SEYLAZ, 1970.)

traités sur papier semi-logarithmique, donnent deux composantes : une constante lente, répondant au débit dans la substance blanche, une constante rapide, répondant au débit dans la substance grise.

L'injection sélective dans l'A.R.L. elle-même du Xénon ou des macro-agrégats permettra d'éliminer la diffusion hors de cette artère.

II. — INFLUENCE DE LA TENSION ARTÉRIELLE SUR LA CIRCULATION MÉDULLAIRE

Indépendamment du dispositif de distribution et de ses variations, interviennent dans la circulation de la moelle épinière, comme dans celle de tout organe, deux ordres de facteurs : la pression de perfusion sanguine et le calibre des vaisseaux. Le débit sanguin médullaire est fonction de P/R, ce qui signifie qu'il varie en fonction directe de la pression sanguine et en fonction inverse de la résistance vasculaire. Les deux facteurs interviennent d'ailleurs le plus souvent conjointement.

Il apparaissait donc essentiel de déterminer s'il existe, au niveau de la moelle, un mécanisme d'autorégulation de son débit sanguin semblable à celui du cerveau et qui la protégerait des variations de la tension artérielle systémique.

E. J. Field, J. Grayson et A. F. Rogers (1951), chez le lapin, ont découvert par les techniques thermo-électriques que, dans certaines limites, la vascularisation médullaire est indépendante de la circulation générale et de la pression sanguine en raison du tonus propre de ses artères. Les variations de la pression artérielle de moyenne importance influencent peu la vascularisation médullaire; lorsque ces variations sont importantes, l'irrigation de la moelle épinière suit au contraire passivement ces variations.

Les travaux les plus récents, portant sur l'animal d'expérience (H. Palleske, M. D. Herrmann et F. Loew, 1968) ou sur la moelle épinière de l'Homme (R. Wullenweber, 1968), concluent, à partir d'enregistrements simultanés du débit sanguin cérébral et médullaire, à une similitude dans leur mécanisme de régulation lors des variations tensionnelles.

C. W. Kindt (1971) a démontré, sur des singes *Macacus rhesus,* que la moelle épinière séparée du tronc cérébral peut encore autoréguler son débit sanguin. Il sectionne la moelle cervicale supérieure et mesure le débit sanguin du cerveau et de la moelle distale. L'autorégulation par rapport aux changements de tension persiste dans le cerveau et dans la moelle.

Bien que, sur le plan clinique, on soit parfois amené à constater une certaine dépendance de la circulation de la moelle épinière par rapport à la pression sanguine et à la qualité de la systole cardiaque (v. chap. VIII, p. 157), l'état actuel des travaux de recherche permet de conclure à l'existence d'une autorégulation du débit sanguin médullaire.

Ainsi, la moelle épinière, de même que le cerveau, et l'ensemble du système nerveux central, auraient, à la différence des autres viscères, une circulation artérielle « protégée ».

On ne connaît pas exactement pour la moelle le chiffre tensionnel minimum au-dessous duquel les troubles circulatoires se produisent. Rappelons que, pour le cerveau, ce chiffre est de 60 à 70 mmHg de maxima (J. Espagno, 1952). Il semble qu'une pression moyenne de 40 à 50 mmHg puisse être atteinte chez l'homme sans entraîner de troubles ou de lésions ischémiques médullaires (C. R. Stephen et coll., 1956); cela signifie que le seuil critique serait plus bas et, donc, les possibilités d'autorégulation plus larges. Aucune étude n'a permis de dire s'il existait des variations régionales de ce mécanisme d'autorégulation.

III. — FACTEURS DE RÉGULATION

De nombreux facteurs à la fois humoraux, nerveux ou métaboliques, semblent intervenir dans la régulation du débit sanguin médullaire. Comme pour la circulation cérébrale, ces facteurs agissent en faisant varier le calibre des artères de la moelle, c'est-à-dire la résistance vasculaire cérébrale.

1° Facteurs chimiques.

Le comportement des vaisseaux de la moelle est-il, comme celui des vaisseaux cérébraux, différent des autres vaisseaux ? Rappelons que la pression partielle de gaz carbonique ($PaCO_2$) et d'oxygène (PaO_2) dans le sang artériel représente d'importants régulateurs de la circulation cérébrale. En effet, dans des conditions

vson et A. F. Rogers (1951), chez le lapin, ont découvert par
-électriques que, dans certaines limites, la vascularisation
dante de la circulation générale et de la pression sanguine
opre de ses artères. Les variations de la pression artérielle
ce influencent peu la vascularisation médullaire; lorsque
ortantes, l'irrigation de la moelle épinière suit au contraire
ions.

plus récents, portant sur l'animal d'expérience (H. Pal-
et F. Loew, 1968) ou sur la moelle épinière de l'Homme
, concluent, à partir d'enregistrements simultanés du débit
dullaire, à une similitude dans leur mécanisme de régula-
tensionnelles.

a démontré, sur des singes *Macacus rhesus*, que la moelle
onc cérébral peut encore autoréguler son débit sanguin. Il
vicale supérieure et mesure le débit sanguin du cerveau et
'autorégulation par rapport aux changements de tension
et dans la moelle.

an clinique, on soit parfois amené à constater une certaine
lation de la moelle épinière par rapport à la pression san-
e la systole cardiaque (v. chap. VIII, p. 157), l'état actuel
he permet de conclure à l'existence d'une autorégulation
ullaire.

inière, de même que le cerveau, et l'ensemble du système
ent, à la différence des autres viscères, une circulation

exactement pour la moelle le chiffre tensionnel minimum
troubles circulatoires se produisent. Rappelons que, pour
st de 60 à 70 mmHg de maxima (J. Espagno, 1952). Il
n moyenne de 40 à 50 mmHg puisse être atteinte chez
er de troubles ou de lésions ischémiques médullaires
1956); cela signifie que le seuil critique serait plus bas et,
'autorégulation plus larges. Aucune étude n'a permis de
ariations régionales de ce mécanisme d'autorégulation.

III. — FACTEURS DE RÉGULATION

urs à la fois humoraux, nerveux ou métaboliques, semblent
ation du débit sanguin médullaire. Comme pour la circu-
teurs agissent en faisant varier le calibre des artères de la
ésistance vasculaire cérébrale.

1° Facteurs chimiques.

es vaisseaux de la moelle est-il, comme celui des vaisseaux
autres vaisseaux ? Rappelons que la pression partielle de
) et d'oxygène (PaO_2) dans le sang artériel représente
s de la circulation cérébrale. En effet, dans des conditions

de normotension, l'hypercapnie essentiellement et l'anoxie accessoirement augmentent le débit sanguin cérébral.

— En ce qui concerne le CO_2, E. J. Field et coll. (1951) n'ont constaté sur le lapin qu'une faible sensibilité de l'hémodynamique médullaire aux variations du CO_2 dans le sang. H. Palleske (1968) a montré, en mesurant en continu le débit sanguin médullaire et cérébral de l'animal d'expérience par les thermosondes, que l'hypercapnie augmentait le débit sanguin médullaire de la même manière que le débit sanguin cérébral. Ce fait est confirmé par R. Wullerweber (1972).

— Un grand nombre d'expériences ont été réalisées sur la sensibilité à l'*anoxie* des différentes structures médullaires. Il est prouvé qu'une hypoxie provoque une chute du débit sanguin médullaire. De plus, certains auteurs admettent la plus grande sensibilité des motoneurones vis-à-vis de l'anoxie. S. Gelfan et I. M. Tarlou (1955-1959) provoquèrent l'anoxie de la moelle chez des chiens soit par asphyxie de tout l'animal, soit par ligature de l'aorte thoracique au-dessous de l'émergence de l'artère sous-clavière gauche. Ils concluent que les motoneurones sont lésés par l'anoxie avant les interneurones. La fragilité particulière de la substance grise pourrait être une explication de « la claudication médullaire ».

D'autres études, au contraire, admettent que les interneurones sont plus sensibles au manque d'oxygène que les motoneurones; ainsi s'expliquerait la rigidité secondaire à l'ischémie médullaire expérimentale qui serait due à la disparition des fonctions inhibitrices des interneurones sur les neurones moteurs. M. Kabat et M. E. Knapp (1944), par des expériences sur l'ischémie médullaire du chien, constatèrent que l'altération des petites cellules intercalaires précède celle des motoneurones. V. Harrefeld et J. P. Schade (1962) ont cherché à préciser l'ordre d'apparition des lésions sur l'animal d'expérience : après 20 minutes d'ischémie, il n'y a pas de lésions cellulaires, vers 28 à 35 minutes, il y a destruction partielle des interneurones, de 28 à 50 minutes, 93 à 96 % des neurones moteurs sont détruits.

La vulnérabilité particulière de certaines cellules vis-à-vis de l'anoxie trouve sa transposition clinique dans les manifestations de l'insuffisance circulatoire de la moelle épinière (K. Jellinger, 1962-1964; E. Neumayer, 1955-1965). Les premiers symptômes de l'ischémie médullaire sont l'exagération des réflexes et la spasmodicité latente décelable par l'électromyographie.

2° Facteurs nerveux.

On sait combien les artères cérébrales sont stables face aux excitations du sympathique, malgré une innervation comparable à celle des autres artères.

L'innervation des vaisseaux de la moelle épinière n'est pas connue. On n'a pas encore découvert de nerfs vasculaires et de terminaisons nerveuses dans l'adventice et dans la média des artères médullaires.

Le rôle du spasme et des troubles vasomoteurs dans la genèse de l'ischémie médullaire est encore mal précisé.

L'activité accrue des neurones ne provoque pas de modifications des artères spinales superficielles d'après E. Otomo et coll. (1960). Au contraire, l'irrigation locale augmente lors de l'activité des neurones (E. J. Field et coll., 1951; A. Capon, 1961). Les vaisseaux médullaires se dilatent lors de tout accroissement local ou général de l'activité nerveuse.

L'activité d'un groupe musculaire, le pincement d'un membre ou la stimulation du nerf sciatique s'accompagnent d'une augmentation de la température et, en conséquence, d'une vasodilatation active des segments médullaires correspondants. Par analogie, à ce qu'observèrent W. Penfield (1939), J. F. Fulton (1949) sur l'écorce cérébrale, à l'augmentation d'activité s'associerait donc une augmentation du degré d'irrigation de la moelle; cette constatation a une importance clinique certaine puisqu'elle permet d'expliquer la possibilité d'une « claudication intermittente » d'origine médullaire : si l'irrigation suffit au repos mais ne peut pas s'adapter à un besoin accru, il se produit une ischémie passagère.

A. Capon (1962), au sujet de la vasomotricité médullaire, rappelle les difficultés soulevées par son étude expérimentale en raison de la multiplicité et du petit calibre des artères et de l'impossibilité d'appliquer à la moelle les méthodes d'exploration utilisées pour le cerveau. L'auteur a étudié la vasomotricité de la moelle du chat par une technique thermométrique très précise; des thermocouples sont piqués dans la substance grise de la moelle lombaire. Les vaisseaux médullaires se dilatent lors de tout accroissement local ou général de l'activité nerveuse ainsi qu'en réponse à l'anoxie et à l'asphyxie; cette réponse est comparable à celle de la vasomotricité cérébrale.

Ainsi, comme pour le débit sanguin cérébral, les facteurs de régulation nerveuse paraissent avoir une influence indiscutable mais, semble-t-il, surtout dans des conditions pathologiques.

3° Facteurs métaboliques.

Les expériences de Betz concluent en faveur d'une corrélation significative entre le débit sanguin médullaire et le pH extra-cellulaire qui serait modifié lors des augmentations du métabolisme cellulaire neuronal médullaire, c'est-à-dire après stimulation motrice ou sensitive périphérique.

Comme le souligne H. Palleske (1968), cette action se produirait par l'intermédiaire d'une vasodilatation, c'est-à-dire d'une diminution de la résistance vasculaire.

4° Influence de l'activité neuronale.

L'hypothèse selon laquelle l'activité motrice ou la stimulation sensitive périphérique s'accompagnerait d'une augmentation du débit sanguin médullaire localisé au myélomère correspondant semble avoir été démontrée par F. Loew et H. Palleske (1970).

5° Influence des facteurs pathologiques.

L'œdème médullaire expérimental réalisé chez l'animal s'accompagne d'une perte de l'autorégulation, comme au niveau de la circulation cérébrale.

La compression médullaire minime peut aboutir à une baisse considérable du débit sanguin médullaire qui, par contre, peut être compensée par des mécanismes de vasodilatation ou la formation de collatérales artérielles au niveau de la

oupe musculaire, le pincement d'un membre ou la stimu-
ue s'accompagnent d'une augmentation de la température
une vasodilatation active des segments médullaires corres-
ie, à ce qu'observèrent W. Penfield (1939), J. F. Fulton
rébrale, à l'augmentation d'activité s'associerait donc une
é d'irrigation de la moelle; cette constatation a une impor-
puisqu'elle permet d'expliquer la possibilité d'une « clau-
» d'origine médullaire : si l'irrigation suffit au repos
adapter à un besoin accru, il se produit une ischémie

au sujet de la vasomotricité médullaire, rappelle les diffi-
on étude expérimentale en raison de la multiplicité et du
s et de l'impossibilité d'appliquer à la moelle les méthodes
pour le cerveau. L'auteur a étudié la vasomotricité de la
ne technique thermométrique très précise; des thermo-
ns la substance grise de la moelle lombaire. Les vaisseaux
t lors de tout accroissement local ou général de l'activité
éponse à l'anoxie et à l'asphyxie; cette réponse est compa-
omotricité cérébrale.
r le débit sanguin cérébral, les facteurs de régulation ner-
une influence indiscutable mais, semble-t-il, surtout dans
giques.

3° Facteurs métaboliques.

e Betz concluent en faveur d'une corrélation significative
médullaire et le pH extra-cellulaire qui serait modifié lors
métabolisme cellulaire neuronal médullaire, c'est-à-dire
rice ou sensitive périphérique.
e H. Palleske (1968), cette action se produirait par l'inter-
ilatation, c'est-à-dire d'une diminution de la résistance

4° Influence de l'activité neuronale.

laquelle l'activité motrice ou la stimulation sensitive péri-
erait d'une augmentation du débit sanguin médullaire loca-
rrespondant semble avoir été démontrée par F. Loew et

Influence des facteurs pathologiques.

ire expérimental réalisé chez l'animal s'accompagne d'une
ion, comme au niveau de la circulation cérébrale.
médullaire minime peut aboutir à une baisse considérable du
ire qui, par contre, peut être compensée par des mécanismes
la formation de collatérales artérielles au niveau de la

lésion. Mais, généralement, il persiste une diminution du débit sanguin médullaire dans le segment sous-jacent qui ne peut plus être irrigué. Si la compression médullaire est augmentée, le débit sanguin diminuera aussi au niveau de la région comprimée, c'est-à-dire à l'étage lésionnel. Quand la compression est stoppée, on assiste à une hyperhémie réactive.

6° Action des substances.

E. J. Field, J. Grayson et A. F. Roggers (1951) ont signalé que l'injection intraveineuse d'adrénaline provoque, chez l'animal, en même temps qu'une brusque hypertension artérielle, une hypothermie et une vasoconstriction des artères de la moelle; ils concluent que leur comportement est opposé à celui des artères cérébrales, mais comparable à celui des autres artères cutanées et viscérales. A. Capon (1961-1962) confirme qu'à l'injection d'adrénaline, les artères de la moelle répondent par une vasoconstriction, au point d'annuler les effets passifs provoqués par l'augmentation de la pression artérielle (voir plus loin); l'existence de cette vasoconstriction active appuie l'hypothèse d'ischémie médullaire réflexe et justifie l'emploi thérapeutique de vasodilatateurs.

La possibilité d'action des vasodilatateurs sur les artères de la moelle est démontrée par une série d'observations (W. Bartsch, 1961-1966).

Par contre, E. Otomo et coll. (1960) n'accordent aux substances vasoactives aucune action sur les vaisseaux de la moelle; il impute les modifications circulatoires constatées à celles de la pression artérielle. Si, comme le pense cet auteur, la circulation de la moelle ne varie sous l'effet des substances vasoactives qu'en fonction de leur effet sur la circulation générale, on doit conclure qu'elle est passive par rapport à la circulation générale et à la pression systémique : conclusions opposées à celles de E. J. Field et coll. (1951).

D'après H. Palleske (1972), les réactions des artères de la moelle et du cerveau aux substances vasoactives sont très comparables. Dans des conditions physiologiques, la compensation aux altérations circulatoires secondaires aux drogues vasoactives, papavérine et ses dérivés exceptés, est rapidement supprimée par un mécanisme d'autorégulation qui, apparemment, est le même dans le cerveau et la moelle.

Dans des conditions pathologiques : œdème ou compression de la moelle, l'autorégulation hémodynamique de la moelle est troublée ou abolie et le débit sanguin dépend essentiellement de la pression systémique. L'accumulation de métabolites acides, de CO_2 dans la région lésée provoque une vasodilatation. Les drogues sont sans effet.

Les études sur le métabolisme médullaire *in vivo* n'ont encore, à notre connaissance, jamais été réalisées.

Les recherches sur la régulation de la circulation de la moelle sont encore peu nombreuses; elles doivent être poursuivies. Nous sommes, pour le moment, réduits aux constatations anatomiques et cliniques. L'expérimentation semble fournir la preuve que la circulation de la moelle et sa régulation ne diffèrent pas de celles du cerveau.